



ACC. *CH. A.C.*
HANIF

9/1/18

Y. Rizka Pradipta

Abinaya

TUGAS AKHIR - TL141584

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN PVA DAN
BENTONIT TERHADAP MORFOLOGI DAN
SIFAT FISIK KOMPOSIT BERBASIS HIDROGEL
ALGINAT SEBAGAI KANDIDAT MATERIAL
PERANCAH UNTUK REGENARASI TULANG
RAWAN**

THALYTA RIZKHA PRADIPTA
NRP. 02511440000023

Dosen Pembimbing
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

TUGAS AKHIR - TL141584

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN PVA DAN
BENTONIT TERHADAP MORFOLOGI DAN
SIFAT FISIK KOMPOSIT BERBASIS HIDROGEL
ALGINAT SEBAGAI KANDIDAT MATERIAL
PERANCAH UNTUK REGENARASI TULANG
RAWAN**

THALYTA RIZKHA PRADIPTA
NRP. 02511440000023

Dosen Pembimbing
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR - TL141584

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN PVA DAN
BENTONIT TERHADAP MORFOLOGI DAN
SIFAT FISIK KOMPOSIT BERBASIS HIDROGEL
ALGINAT SEBAGAI KANDIDAT MATERIAL
PERANCAH UNTUK REGENARASI TULANG
RAWAN**

THALYTA RIZKHA PRADIPTA
NRP. 02511440000023

Dosen Pembimbing
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**STUDY ON THE EFFECT OF PVA AND
BENTONITE ADDITION TO MORPHOLOGY
AND PHYSICAL PROPERTIES OF COMPOSITES
BASED ON ALGINATE HYDROGEL AS
SCAFFOLD FOR CARTILAGE REGENERATION**

**THALYTA RIZKHA PRADIPTA
NRP. 02511440000023**

Advisor

Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.

Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN PVA DAN
BENTONIT TERHADAP MORFOLOGI DAN SIFAT FISIK
KOMPOSIT BERBASIS HIDROGEL ALGINAT
SEBAGAI KANDIDAT MATERIAL PERANCAH TULANG
RAWAN UNTUK REGENARASI TULANG RAWAN**


TUGAS AKHIR

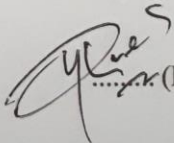
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Material Inovatif
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

THALYTA RIZKHA PRADIPTA
NRP. 0251144000023

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.  (Pembimbing 1)

2. Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc  (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Serta tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW. Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Pengaruh Penambahan PVA dan Bentonit Terhadap Morfologi dan Sifat Fisik Komposit Berbasis Hidrogel Alginat Sebagai Kandidat Material Perancah Untuk Regenerasi Tulang Rawan”**.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Allah SWT berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
3. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
4. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir serta selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material FTI-ITS..

5. Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material FTI ITS.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
8. Karyawan Laboratorium Inovasi Material, Laboraturium Kimia Material, dan Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS; Laboratorium Energi ITS atas bantuannya dalam pengambilan data untuk keperluan penelitian ini
9. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
10. Dan seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 15 Desember 2017

Penulis,
Thalyta Rizkha Pradipta

**Studi Pengaruh Penambahan PVA dan Bentonit
Terhadap Morfologi dan Sifat Fisik Komposit
Berbasis Hidrogel Alginat
Sebagai Kandidat Material Perancah Tulang Rawan
untuk Regenerasi Tulang Rawan**

Nama : Thalyta Rizkha Pradipta
NRP : 02511440000023
Jurusan : Departemen Teknik Material
Dosen Pembimbing : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D
Co Pembimbing : Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc

ABSTRAK

Rumput laut coklat merupakan salah satu sumber daya alam laut yang keberadaannya sangat melimpah dan tumbuh secara alami di perairan pantai Indonesia khususnya di perairan Madura dan Banten, namun potensi ini belum dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan rumput laut cokelat khususnya di daerah Madura karena lokasinya yang dekat, hanya sebatas untuk makanan warga sekitar. Hal inilah yang menjadi acuan untuk mengembangkan dan meningkatkan potensi rumput laut cokelat dengan mengekstrak salah satu kandungannya yaitu alginat untuk dikembangkan ke arah biomedis khususnya material perancah (scaffold). Saat ini, alginat komersil telah banyak diaplikasikan dalam bidang ilmu biomaterial sebagai bahan baku pembalut luka, drug delivery, dan material perancah (scaffold). Dikarenakan keterbatasan sifat fisik dan mekaniknya, maka mulai dikembangkan hidrogel alginat dengan penambahan beberapa material untuk meningkatkan sifat tersebut. Dalam penelitian ini akan dianalisa pengaruh penambahan PVA dan bentonit terhadap morfologi dan sifat fisik komposit berbasis hidrogel alginat serta membandingkan fisibilitas alginat komersil dengan alginat hasil ekstraksi. Sintesis komposit hidrogel alginat/PVA/bentonit dimulai dengan pengekstrasian sodium alginat dari *Sargassum* sp. asal Sumenep, Madura melalui

jalur CaCl_2 kemudian dilanjutkan dengan pembuatan hidrogel alginat. Pembuatan komposit hidrogel alginat/PVA/bentonit ini dengan tambahan PVA dan bentonit sebanyak 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% wt dari masing-masing bahan ke hidrogel alginat dengan pelarut aquades. Sampel kemudian diuji menggunakan XRF, FTIR, XRD, SEM, viscosity bath, dan hidrolitik degradasi. Dari pengujian diatas didapatkan komposisi optimum untuk komposit adalah 70A/15B/15P dan sodium alginat ekstraksi memiliki fisibilitas yang baik untuk dijadikan alternatif pengganti sodium alginat komersil sebagai material perancah. Modifikasi alginat ini diharapkan dapat menjadi kandidat material perancah (scaffold) tulang rawan yang mempunyai sifat biokompatibilitas dan biodegradabilitas yang baik. Selain itu, penelitian ini juga menjadi dasar untuk pemanfaatan hasil ekstraksi bahan alam yang kedepannya dapat dimanfaatkan sebagai bioink pada proses manufaktur 3D printed.

Kata Kunci : Alginat, PVA, Bentonit, Biokomposit, Hidrogel, Scaffold, 3D Printed.

**Study on the Effect of PVA and Bentonite Addition
To Morphology and Physical Properties of
Composites Based on Alginate Hydrogel
As Scaffold for Cartilage Regeneration**

Name	: Thalyta Rizkha Pradipta
SRN	: 02511440000023
Major	: Material Engineering
Advisor	: Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D
Co-Advisor	: Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc

ABSTRACT

Brown seaweed is one of the most abundant marine natural resources which grows naturally in the coastal waters of Indonesia, especially in the waters of Madura and Banten, but this potential has not been optimally utilized. Utilization of brown seaweed, especially in Madura area, only limited for food of citizens. It is needed to develop the potential of brown seaweed. Thus, one of the way is by extracting one of its content that is alginate to be developed toward biomedical especially for scaffold material. Currently, commercial alginates have been widely used in the field of biomaterials as raw materials for wound dressings, drug delivery, and scaffold material. Due to the limitations of its physical and mechanical properties to develop alginate hydrogels with the addition of some materials to improve the properties. This research will analyze the effect of addition of PVA and bentonite to morphology and physical properties of alginate hydrogel composite as well as comparing the commercial alginate with alginate extracted results. The synthesis of hydrogel alginate/PVA/bentonite composite began with extracting sodium alginate from *Sargassum* sp. origin from Sumenep, Madura through soxhlet CaCl_2 route then followed by making alginate hydrogel. Preparation of this composite hydrogel alginate/PVA/bentonite by adding PVA and bentonite as much as

5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% wt from each material to alginate hydrogel with aquades solvent. Then, samples were tested using XRF, FTIR, XRD, SEM, viscosity bath, and hydrolytic degradation. From the above test, the optimum composition for composite is 70A/15B/15P and sodium alginate extraction has good compatibility to be used as alternative substitution of commercial sodium alginate as scaffold material. This alginate modification is expected to be a cartilage scaffold candidate with good biocompatibility and biodegradability. In addition, this research is basis for the utilization of natural material extracts that in the future, can be utilized as bioinks in 3D printed manufacturing process.

Key Word--- Alginate, PVA, Bentonite, Composite, Hydrogel, Scaffold, 3D Printed.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material untuk <i>3D Bioprinting</i>	5
2.1.1 Karakteristik bioinks hidrogel	8
2.1.2 <i>Bioinks</i>	10
2.1.3 Sel.....	11
2.2 Material untuk <i>Scaffold</i>	13
2.3 Rumput Laut Cokelat.....	15
2.4 Alginat	17
2.4.1 Hidrogel Alginat	19
2.4.2 Karakteristik Alginat Sebagai Bahan Biomaterial....	20
2.5 Polyvinil Alkohol.....	21
2.5.1 Karakteristik Polyvinil Alkohol (PVA) Sebagai Bahan Biomaterial.....	23
2.6 Bentonit.....	23
2.7 Penelitian Sebelumnya.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir.....	33
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	37
3.2.1 Bahan Penelitian	37

3.2.2 Bahan Penelitian	40
3.3 Metode Penelitian	43
3.4 Pengujian	46
3.4.1 Pengujian Sifat Fisik.....	46
3.4.2 Pengujian Morfologi.....	48
3.5 Rancangan Penelitian	49
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Perbandingan Komposisi Sodium Alginat Komersil dengan Sodium Alginat Hasil Ekstraksi.....	53
4.2 Pengaruh Penambahan Polyvinil Alkohol (PVA) dan Bentonit Terhadap Morfologi Hidrogel Komposit	55
4.3 Pengaruh Penambahan Polyvinil Alkohol (PVA) dan Bentonit Terhadap Sifat Fisik Hidrogel Komposit	79
4.4 Pengaruh Penambahan Polyvinil Alkohol (PVA) dan Bentonit Terhadap <i>Hydrolytic Degradation</i> Hidrogel Komposit	85
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	89
5.2 Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	xiii
LAMPIRAN	
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (A) Cetakan PCL Berbentuk Hati dan <i>Scaffold</i> Alginat dengan <i>Bioinks</i> pada Jaringan Tertentu (Lee, 2014). (B) <i>Scaffold</i> Telinga (<i>Cartilage</i>) dicetak Menggunakan Bioink <i>Nanocellululose-Alginate</i> Baru yang didukung <i>Chondrocytes</i> Manusia (Markstedt, 2015).	11
Gambar 2.2 <i>Scaffold 3D</i> Menunjukkan Proliferasi Sel Yang Tersusun Di Dalamnya Hari 1 (F), Hari Ke 2 (G) Dan Hari Ke 4 (H) Dengan Skala: 100 Mm. (Gauvin, 2012)	12
Gambar 2.3 (A) Proses 3D Bioprinting, (B) Inject Bioprinting (C) Laser-Assisted Bioprinting (D) Extrusion Bioprinting (E) Stereolithography Bioprinting (Christian, 2015).....	12
Gambar 2.4 Gambar SEM Scaffold Berbahan PVA dengan Tingkat Pengadukan yang Berbeda, Waktu yang Sama Menghasilkan Porositas yang Berbeda. (Mao Ye, 2014)	15
Gambar 2.5 Beberapa Jenis <i>Sargassum</i> sp (Chalvyn, 2016).....	16
Gambar 2.6 Asam Alginat Terdiri dari Unit G dan M (Atkins, 1971).....	18
Gambar 2.7 Sodium Alginat Komersil (Wikipedia).....	19
Gambar 2.8 Struktural Polyvinyl Alkohol (Chemical and Technical Assessment, 2004).....	22
Gambar 2.9 Butiran Polyvinil Alkohol (PVA) (Wikipedia).....	23
Gambar 2.10 Butiran Bentonit (Wikipedia).....	24

Gambar 2.11 Pengaruh tingkat pengadukan yang berbeda (100, 400, 700, dan 1000 rpm) terhadap karakteristik pori scaffold selama 60 detik. (Mao Ye, 2014)	25
Gambar 2.12 Parameter bioinks alginat/PVA (Yongxiang Luo, 2016)	26
Gambar 2.13 Kekuatan tekan (a, b) dan modulus Young (c, d) dari scaffold alginat/PVA dicetak 3D dalam kondisi kering (a, c) dan wet (b, d). (Yongxiang Luo, 2016)	27
Gambar 2.14 Perbandingan porositas (e) dan adsorpsi air (f) scaffold dicetak 3D dengan rasio alginat/PVA yang berbeda. (Yongxiang Luo, 2016)	27
Gambar 2.15 Rasio pencampuran alginat/bentonit terhadap modulus kompresif dari hidrogel alginat/bentonit. (Seung-Taek Oh, 2008)	29
Gambar 2.16 Hasil SEM (a) alginat 70%/bentonit 30% permukaan hidrogel (x75), (b) alginat 30%/bentonit 70% permukaan hidrogel (x75), (c) alginat 70%/bentonit 30% penampang hidrogel (x500), dan (d) alginat 30% / bentonit. Penampang hidrogel 70% (x500). (Seung-Taek Oh, 2008)	29
Gambar 2.17 Hasil FT-IR Sodium Alginat Ekstraksi (a) <i>S. duplicatum</i> dan (b) <i>S. crassifolium</i> , dengan Sodium Alginat Komersil (Decky, 2013)	30
Gambar 2.18 Difraktogram XRD Sodium Alginat (<i>molecular weight</i> : 12 kDa, <i>medium viscosity</i>) Sigma–Aldrich. (Julia, 2015)	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	33

Gambar 3.2 Ekstraksi Alginat dari <i>Sargassum sp.</i> Jalur CaCl_2	36
Gambar 3.3 Sintesis Hidrogel Alginat.....	36
Gambar 3.4 Sintesis Biokomposit Hidrogel Alginat/PVA/Bentonit	37
Gambar 3.5 (a). Gambar Kiri Menunjukkan <i>Sargassum sp.</i> yang digunakan dan (b). Gambar Kanan Menunjukkan Hamparan <i>Sargassum sp.</i> di Pantai Gili Genting, Sumenep, Madura, Jawa Timur saat air sedang surut.	38
Gambar 4.1 Struktur Sodium Alginat	55
Gambar 4.2 Perbandingan Hasil Pengujian FT-IR Sodium Alginat Hasil Ekstraksi Jalur Sochlet CaCl_2 dan Sodium Alginat Komersil.....	56
Gambar 4.3 Perbandingan Hasil FTIR Sodium Alginat Ekstraksi, PVA, Bentonit, Hidrogel Komposit 70AEkstraksi/15B/15P.	58
Gambar 4.4 Perbandingan Hasil FTIR Sodium Alginat Komersil, PVA, Bentonit, Hidrogel Komposit 70AKomersil/15B/15P.	61
Gambar 4.5 Grafik FT-IR Pengaruh Penambahan PVA dan Bentonit terhadap Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi	62
Gambar 4.6 Grafik FT-IR Pengaruh Penambahan PVA dan Bentonit terhadap Hidrogel Komposit Alginat Komersil	64
Gambar 4.7 Perbandingan Hasil FT-IR Hidrogel Komposit 70A/15B/15P Alginat Ekstraksi dengan Hidrogel Komposit 70A/15B/15P Alginat Komersil	65
Gambar 4.8 Difraktogram XRD dari Sampel Sodium Alginat Ekstraksi	67

Gambar 4.9 Perbandingan Grafik XRD dari Sodium Alginat Ekstraksi, PVA, Bentonit dan Hidrogel Komposit 70A/15B/15P Alginat Ekstraksi	68
Gambar 4.10 Perbandingan Grafik XRD dari Sodium Alginat Ekstraksi, PVA, Bentonit dan Hidrogel Komposit 70A/15B/15P Alginat Komersil	70
Gambar 4.11 Difraktogram XRD Pengaruh Penambahan PVA dan Bentonit terhadap Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi.	71
Gambar 4.12 Difraktogram XRD Pengaruh Penambahan PVA dan Bentonit terhadap Hidrogel Komposit Alginat Komersil	72
Gambar 4.13 Perbandingan Grafik XRD dari Hidrogel Komposit 70A/15B/15P Alginat Ekstraksi dan dari Hidrogel Komposit 70A/15B/15P Alginat Komersil	74
Gambar 4.14 Hasil SEM perbesaran 500x. Sampel Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi/PVA/Bentonit A). 70A/30B; B). 70A/15B/15P; C). 70A/10B/20P; D). 70A/5B/25P; E). 70A/30P; F). 70A/20B/10P; G). 70A/25B/5P.....	75
Gambar 4.15 Hasil SEM komposit hidrogel komposisi 70A/30P dengan perbesaran 500x. Gambar A). Komposit Hidrogel Seung Taek-Oh (2008) dan B). Komposit Hidrogel Alginat Ekstraksi.	76
Gambar 4.16 Hasil SEM perbesaran 500x. Sampel Hidrogel Komposit Alginat Komersil/PVA/Bentonit A). 70A/30B; B). 70A/15B/15P; C). 70A/10B/20P; D). 70A/5B/25P; E). 70A/30P; F). 70A/20B/10P; G). 70A/25B/5P.....	77

Gambar 4.17 Hasil SEM komposit hidrogel komposisi 70A/30P dengan perbesaran 500x. Gambar A). Komposit Hidrogel Seung Taek-Oh (2008) dan B). Komposit Hidrogel Alginat Komersil.	78
Gambar 4.18 Perbandingan Nilai Viskositas pada Sampel Hidrogel Komposit Alginat Komersil (Terang) dengan Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi (Gelap).....	80
Gambar 4.19 Perbandingan Hasil Degradasi pada Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi selama 35 hari.....	85
Gambar 4.20 Perbandingan Hasil Degradasi pada Hidrogel Komposit Alginat Komersil selama 35 hari.....	86

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Aplikasi Bioprinting untuk Organ dan Jaringan (Christian, 2015).....	5
Tabel 2.2 Kandungan dan Manfaat Rumput Laut Genus <i>Sargassum</i> (Chalvyn, 2016)	16
Tabel 2.3 Karakteristik Polyvinil Alkohol.....	22
Tabel 3.1 Komposisi Sample 1 Raw material Sodium Alginat komersil.....	49
Tabel 3.3 Komposisi Sample 2 Raw material Sodium Alginat Hasil Ekstraksi Jalur CaCl_2	50
Tabel 3.4 Rancangan Pengujian Sample A, B, C, D	50
Tabel 3.5 Rancangan Pengujian Raw Material	51
Tabel 4.1 Perbandingan kandungan unsur pada Sodium Alginat Komersil dan Sodium Alginat Ekstraksi Sochlet jalur CaCl_2	53
Tabel 4.2 Perbandingan Gelombang Gugus Fungsi pada Alginat Komersil dan Alginat Hasil Ekstraksi	56
Tabel 4.3 Indeks Kristalinitas pada Sampel Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi	71
Tabel 4.4 Indeks Kristalinitas pada Sampel Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi	73
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Viskositas Sodium Alginat Ekstraksi dengan Sodium Alginat Komersil	79
Tabel 4.6 Perbandingan visualisasi hidrogel komposit alginat ekstraksi dan hidrogel komposit alginat komersil melalui fabrikasi pendekatan ekstrusion 3D-Printed	82

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumput laut coklat merupakan salah satu sumber daya alam laut yang keberadaannya sangat melimpah dan tumbuh secara alami di perairan pantai Indonesia khususnya di perairan Madura dan Banten, namun potensi ini belum dimanfaatkan secara optimal (Yunizal, 2004). Pada umumnya rumput laut coklat mengandung agar-agar, alginat dan karagenan (Bixler dan Porse, 2010) yang digunakan sebagai bahan baku dalam industri makanan, kosmetik dan farmasi (Gerasimenko, 2010). Pemanfaatan rumput laut coklat khususnya di daerah Madura karena lokasinya yang dekat dengan Surabaya, Jawa Timur, hanya sebatas untuk makanan warga sekitar. Hal inilah yang menjadi acuan untuk mengembangkan dan meningkatkan potensi rumput laut coklat dengan mengekstrak salah satu kandungannya yaitu alginat untuk dikembangkan ke arah biomedis khususnya material perancah (*scaffold*). Di alam, ketersediaan rumput laut penghasil alginat selalu ada sepanjang tahun. Oleh karena itu potensi pemanfaatan rumput laut tersebut untuk menghasilkan alginat yang murah dan *comparable* masih terbuka luas (Amir, 2012). Alginat merupakan suatu polisakarida hasil ekstraksi rumput laut coklat seperti *Sargassum sp.* (Basmal, 2002). Salah satu cara yang dapat dilakukan dan dikembangkan yaitu pengekstrasian. Alginat dapat diekstrak dan dimurnikan melalui beberapa jalur seperti jalur ethanol, HCl, dan CaCl₂ (Marcelo, 2009).

Alginat telah banyak diaplikasikan dalam bidang ilmu biomaterial sebagai bahan baku di bidang medis seperti pembalut luka (*wound dressing*) (Theresia, 2011), bungkus kapsul / obat (*delivery drug*) (Seung-Taek Oh, 2008 dan Hina Anwar, 2017) dan saat ini banyak peneliti gencar memodifikasi alginat dengan beberapa bahan sebagai pembuat material perancah (*scaffold*) (Nasim, 2016 dan Yongxiang Luo, 2016). Salah satu aplikasi penggunaan *tissue engineering* adalah dengan pembuatan *scaffold*



yang berfungsi sebagai tempat untuk regenerasi pertumbuhan sel dan jaringan tulang yang baru. Untuk regenerasi jaringan yang berhasil, prasyarat dari *scaffold* meliputi struktur 3D, berpori, biodegradable, biresorbsi dan mempunyai kekuatan mekanik, serta masih banyak lagi (Mao Ye, 2014). Beberapa penelitian telah memodifikasi hidrogel alginat dengan bentonit sebagai *drug delivery* (Seung-Taek Oh, 2008), alginat dengan PVA sebagai *3D Printing scaffold* (Yongxiang Luo, 2016), alginat dengan PVA dan grafena sebagai *scaffold* kontruksi rekayasa saraf (Nasim Golafshan, 2016), dan hidrogel alginat dengan hialuronat sebagai *cartilage scaffold* (Honghyun Park, 2017).

Sebelumnya *scaffold* dibuat dengan bahan *biodegradable* termasuk polyvinil alkohol (PVA), poli-kaprolakton (PCL), asam polylactic (PLA), asam poliglikolat (PGA), dan polylactic-co-glycolic asam (PLGA) (Nair, 2007). Namun, kekuatan tekan dan modulus *young* dari bahan ini tidak mirip dengan jaringan hidup dan beberapa bahan ini sering perlu dilarutkan dengan pelarut yang sangat beracun (Gunatillake, 2003 dan Sohier, 2008). Untuk menghindari kekurangan tersebut, dilakukanlah modifikasi dimana polimer alam menawarkan keuntungan yaitu biokompatibel, biodegradabilitas, dan toksisitas rendah sedangkan polimer sintetis memiliki karakteristik yang mudah berubah, mampu dicetak dalam berbagai ukuran dan memiliki sifat mekanik serta tahan panas yang lebih baik. Campuran polimer alami dan sintetis yang disebut sebagai bahan polimer *bioartificial* (biosintesis) dianggap sebagai produk polimer baru yang memperoleh perhatian luar biasa untuk aplikasi biomedis sejak dekade terakhir karena sifat mekanik dan termal serta biokompatibilitas yang dapat ditingkatkan dibandingkan dengan polimer tunggal (Lin & Metters, 2006; Sionkowska, 2011).

Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan sintesis dan karakterisasi komposit hidrogel alginat/polyvinilalkohol (PVA)/bentonit sebagai kandidat material perancah tulang rawan yang kedepannya hasil dari modifikasi material tersebut dapat dimanufaktur menggunakan *3D Printed*. Ketiga bahan tersebut



memiliki sifat larut dalam air, tidak beracun (*non toxic*), biokompatibel, dan polimer biodegradable untuk pembuatan *scaffold*. Hal yang membedakan ialah alginat mudah didapat (Basmal dkk., 2002), dan kemampuan *gelling* yang tinggi (Draget, 2006), sedangkan polyvinil alkohol memiliki tingkat porositas yang tinggi (Xue-Hua Zhou, 2016), dan bentonit berkemampuan menyerap air yang tinggi (Seung-Taek Oh, 2008). Di antara berbagai kandidat biomaterial, hidrogel semakin banyak dimanfaatkan untuk pengembangan *scaffold* dikarenakan biokompatibilitas, dan sifat fisik yang dapat diatur (Abbas, 2008).

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan PVA dan Bentonit terhadap morfologi dan sifat fisik pada komposit berbasis hidrogel alginat sebagai kandidat material perancah untuk regenerasi tulang rawan?
2. Bagaimana fisibilitas alginat hasil ekstraksi jika dibandingkan dengan alginat komersil pada komposit berbasis hidrogel alginat sebagai kandidat material perancah untuk regenerasi tulang rawan?

1.3 Batasan Masalah

Agar diperoleh hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh pengotor pada alginat, bentonit, dan PVA diabaikan.
2. Temperatur *hot plate magnetic stirrer* dianggap konstan.



1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah

1. Menganalisis pengaruh penambahan PVA dan Bentonit terhadap morfologi dan sifat fisik pada komposit berbasis hydrogel alginat sebagai kandidat material perancah untuk regenerasi tulang rawan.
2. Menganalisis fisibilitas alginat hasil ekstraksi jika dibandingkan dengan alginat komersil pada komposit berbasis hydrogel alginat sebagai kandidat material perancah untuk regenerasi tulang rawan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian kali ini memiliki manfaat untuk memberikan referensi mengenai proses sintesis dan karakterisasi komposit hidrogel alginat/PVA/bentonit sebagai kandidat material perancah tulang rawan yang mempunyai sifat biokompatibilitas dan biodegradabilitas yang baik. Selain itu, penelitian ini juga menjadi dasar untuk pemanfaatan hasil ekstraksi bahan alam yang kedepannya dapat dimanfaatkan sebagai *bioink* pada proses manufaktur *3D printed*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material untuk 3D Bioprinting

Dalam ilmu *tissue engineering*, tiga metode digunakan untuk mengganti atau menginduksi jaringan yang ditargetkan: (1) penggunaan sel sendiri, (2) penggunaan biomaterial biokompatibel, (3) penggunaan kombinasi kedua sel dan biomaterial (Khademhosseini, 2006).

Tissue engineering adalah bidang yang bertujuan untuk mengembangkan pengganti biologis jaringan manusia atau organ untuk mengurangi kebutuhan transplantasi organ. Penelitian terbaru telah meningkatkan pembudidayaan sel dalam jaringan 3D dimana penelitian ini memberikan hasil fisiologis lingkungan yang lebih baik untuk memandu perilaku sel dan meningkatkan fungsinya (Thoma, 2014 dan Amman, 2014). Berikut dari table 2.1 merupakan beberapa contoh bahan yang diaplikasikan pada bioprinting organ dan jaringan.

Tabel 2.1 Aplikasi Bioprinting Untuk Organ dan Jaringan
(Christian, 2015)

<i>Tissue</i>	<i>Cell sources</i>	<i>Materials</i>	<i>Printing method</i>	<i>Refere nce</i>
<i>Vessel</i>	<i>Smooth muscle cells</i>	<i>Carbon nanotube encapsulated alginate</i>	<i>Extrusion</i>	<i>Dolati (2014)</i>
	<i>Smooth muscle cells and aortic valve leaflet interstitial cells</i>	<i>Gelatin and alginate</i>	<i>Extrusion</i>	<i>Duan (2013)</i>



	<i>Human umbilical vein endothelial cells (HUVEC)</i>	<i>PEG-DA, Matrigel, fibrin gel, alginate, agarose, and GelMA</i>	<i>Extrusion</i>	<i>Miller (2012) and Kolesky (2014)</i>
	<i>Rat heart endothelial cells</i>	<i>Alginate</i>	<i>Extrusion</i>	<i>Khalil and Sun (2009)</i>
	<i>Ea.hy926 endothelial cells</i>	<i>Nano-hydroxyapatite (n-HA)</i>	<i>Laser-assisted</i>	<i>Catros (2011)</i>
	<i>Fibroblasts (L929), mouse endothelial cells and human mesenchymal stem cells</i>	<i>Acrylated hyaluronic acid-PEG (HA-PEG), and Matrigel</i>	<i>Inkjet</i>	<i>Hong (2013)</i>
<i>Bone</i>	<i>HUVEC</i>	<i>GelMA</i>	<i>Stereolithography</i>	<i>Gauvin (2012)</i>
	<i>Mouse osteoblastic cells</i>	<i>n-HA</i>	<i>Inkjet</i>	<i>Keriquel (2010)</i>
	<i>MG-63 cells</i>	<i>Alginate</i>	<i>Extrusion</i>	<i>Loozen (2013)</i>
	<i>Human osteoprogenitor cells</i>	<i>n-HA</i>	<i>Laser-assisted</i>	<i>Catros (2011a)</i>
<i>Cartilage</i>	<i>Patient's cartilage</i>	<i>Poly(ethylene glycol)</i>	<i>Inkjet</i>	<i>Cui (2012a)</i>



		<i>dimethacrylates (PEGDMA)</i>		
	<i>Minced cartilage cells</i>	<i>Poly (ϵ-caprolactone) (PCL), and fibrin-collagen hydrogels</i>	<i>Inkjet</i>	<i>Xu (2013)</i>
	<i>Equine chondrocytes and mesenchymal stromal cells (MSCs)</i>	<i>PCL, GelMA, and GelMA-gellan hydrogels</i>	<i>Extrusion</i>	<i>Visser (2013)</i>
	<i>Human meniscus cells</i>	<i>GelMA</i>	<i>Stereolithography</i>	<i>Grogan (2013)</i>
<i>Skin</i>	<i>NIH3T3 fibroblast, HaCaT keratinocytes</i>	<i>Collagen</i>	<i>Laser-assisted</i>	<i>Michael (2013)</i>
<i>Neuronal tissue</i>	<i>Mouse bone marrow stem cells</i>	<i>Collagen, and agarose</i>	<i>Extrusion</i>	<i>Owens (2013)</i>
	<i>Embryonic stem cells</i>	<i>N/A</i>	<i>Inkjet</i>	<i>Xu (2011)</i>
<i>Skeletal muscle</i>	<i>C2C12 mouse myoblasts</i>	<i>Polyurethane (PU), and PCL</i>	<i>Extrusion</i>	<i>Merceron (2015)</i>



	<i>C2C12 mouse myoblasts</i>	<i>Alginate, and gelatin</i>	<i>Extrusion</i>	<i>Zhang (2013)</i>
<i>Tumor</i>	<i>Hela cells</i>	<i>Gelatin–alginate–fibrinogen hydrogel</i>	<i>Extrusion</i>	<i>Zhao (2014)</i>
<i>Adipose tissue</i>	<i>Adipose derived stem cells</i>	<i>Alginate</i>	<i>Laser-assisted</i>	<i>Gruene (2011a)</i>

Dalam *3D bioprinting*, salah satu metode untuk mendapatkan jaringan 3D, unit kecil sel dan biomaterial dibuat menjadi ukuran mikrometer untuk membentuk struktur jaringan. Keunggulan *3D bioprinting* meliputi kontrol distribusi sel yang akurat, pengendapan sel beresolusi tinggi, skalabilitas, dan efektivitas biaya (Bracci, 2013). *3D bioprinting* terdapat sebutan *bioink* yaitu tinta yang diinjeksikan untuk membentuk struktur jaringan (Christian, 2015). *Bioink* biasanya terdiri dari larutan hidrogel polimer dan sel (Christian, 2015).

2.1.1 Karakteristik *bioinks* hidrogel

Hidrogel berperan penting dalam bioprinting. Mereka tidak hanya memiliki kontak langsung dengan sel untuk memberikan dukungan struktural, namun juga mendominasi sifat kimia dan fisika pada *bioinks* (Williams, 2008). Idealnya, hidrogel yang digunakan untuk *bioprinting* harus bersifat di bawah ini.

2.1.1.1 *Printability* dan *Crosslinkability*

Printability mengacu pada hubungan antara *bioink* dan substrat yang menghasilkan cetakan pola berkualitas tinggi yang akurat (Murphy dan Atala, 2014). Dalam *bioprinting*, *printability* biasanya dikaitkan dengan tegangan



permukaan, yang diukur dengan sudut kontak antara dua media. Penelitian telah menunjukkan bahwa tegangan permukaan *bioink* memiliki implikasi yang signifikan dan mendalam terhadap keterikatan dan perkembangan sel (Discher, 2005).

Printability juga dipengaruhi oleh mudah atau tidaknya material bisa *crosslinkability*. Tiga jenis teknologi *bioprinting* yang saat ini tersedia hanya mampu mengeluarkan bahan cair dan akibatnya hidrogel harus dalam bentuk cair atau pasta seperti selama pencetakan. Untuk mengakomodasi kepadatan sel dan teknologi cetak yang berbeda, viskositas larutan awal polimer hidrogel harus dapat dikontrol. Bertentangan dengan kondisi ini, *bioink* harus membentuk struktur *scaffold* untuk mendukung proliferasi sel setelah pencetakan (Weiner, 2007 dan Nichol, 2010).

2.1.1.2 Sifat Mekanik

Hidrogel harus memiliki sifat mekanik untuk membuat lingkungan stabil terhadap penempelan, pertumbuhan dan perkembangbiakan sel (Limpanuphap, 2002 dan Murphy, 2013). Sifat mekanik meliputi regangan, tegangan geser, modulus tekan dan rasio pengembangan volume. Hal ini menjelaskan bahwa adhesi sel secara signifikan dipengaruhi oleh interaksi dinamis antara sel dan hidrogel (Dou, 2012 dan Benson, 2014). Sifat mekanik dipertimbangkan sangat penting untuk jaringan lunak, seperti tulang rawan dan kulit, karena fungsi jaringan semacam itu sangat bergantung pada sifat mekaniknya (Hutmacher, 2000 dan Kim, 2012).

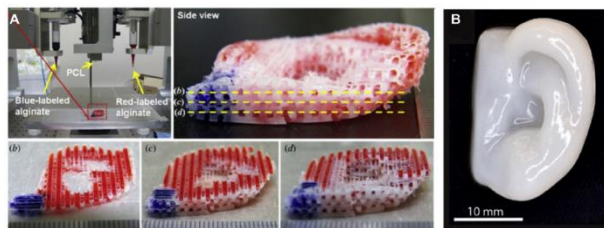


2.1.1.3 Biokompatibilitas dan Pengendalian Produk Sampingan dan Degradasi

Biokompatibilitas mengacu pada kemampuan material untuk dapat merespon sesuai dalam situasi tertentu atau disebut kecocokan (Hobkirk, 1988). Secara umum, untuk aplikasi *in vitro*, biokompatibilitas mensyaratkan bahwa bahan tidak boleh berbahaya bagi proliferasi sel dan memiliki kemampuan untuk berikatan kuat dan tepat dengan sel (Williams, 2008). Untuk aplikasi *in vivo*, biokompatibilitas menambahkan persyaratan bahwa materialnya dapat terdegradasi alami seiring tumbuhnya sel-sel ECM tanpa menghasilkan produk sampingan berbahaya atau interaksi negatif dengan sel (Williams, 2008).

2.1.2 Bioinks

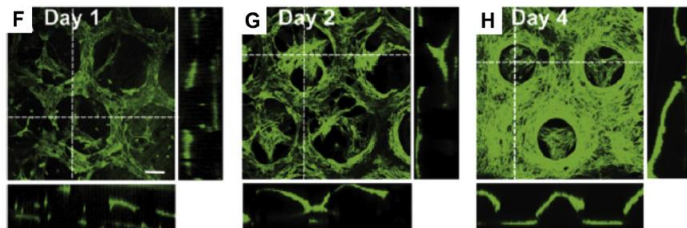
Dari segi desain hidrogel, pada dasarnya ada dua jenis hidrogel: polimer alami dan polimer sintesis (Zorlutuna, 2013). Hidrogel alami seperti gelatin, kolagen, laminin dan fibronectin, serta polimer alami lainnya seperti alginat, chitosan dan sutra fibroin (Zorlutuna, 2013). Polimer sintesis, tidak seperti polimer alami, dibuat melalui sintesis kimia dan biasanya lebih terkendali dalam kandungan bahan kimia dan sifat mekanik (Zhu dan Marchant, 2011). Polimer alami banyak digunakan dalam penelitian bioprinting, namun beberapa peneliti telah menggunakan kombinasi dari polimer alami dan sintesis (Schuurman, 2011 dan Xu, 2013). Contoh penggunaan bahan polimer sebagai bioink dalam aplikasi pembentukan tulang rawan salah satunya yaitu bentuk yang menyerupai telinga manusia pada gambar 2.2.



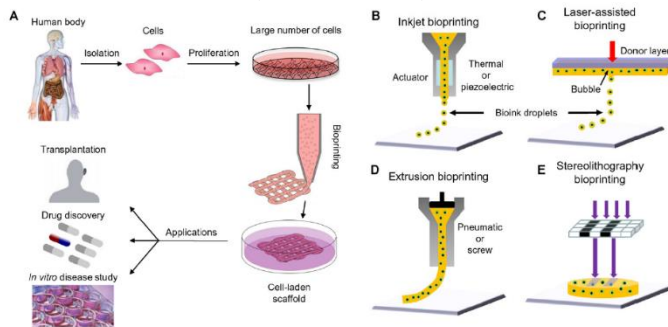
Gambar 2.1 (A) Cetakan PCL Berbentuk Hati dan *Scaffold* Alginat dengan *Bioinks* pada Jaringan Tertentu (Lee, 2014). (B) *Scaffold* Telinga (*Cartilage*) dicetak Menggunakan *Bioink Nanocellululose-Alginate* Baru yang didukung *Chondrocytes* Manusia (Markstedt, 2015).

2.1.3 Sel

Untuk membentuk jaringan atau organ mimetik pada skala makro, sel *bioprinted* harus berkembangbiak. Dua faktor utama dipertimbangkan saat memilih sel untuk bioprinting: (1) seberapa dekat sel *bioprinted* dapat meniru keadaan fisiologis sel secara *in vivo* dan (2) sampai sejauh mana sel *bioprinted* dapat mempertahankan atau mengembangkan fungsi *in vivo* mereka di bawah lingkungan mikro yang optimal (Murphy dan Atala, 2014). Jaringan buatan ini diunggulkan berdasarkan cetakan sel primer fungsional dengan sel-sel pendukung (Keriquel, 2010 dan Dolati, 2014) atau mencetak sel induk untuk berkembangbiak lebih lanjut (Gruene, 2011 dan Visser, 2013). Pertumbuhan sel pada scaffold 3D ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Scaffold 3D Menunjukkan Proliferasi Sel Yang Tersusun Di Dalamnya Hari 1 (F), Hari Ke 2 (G) Dan Hari Ke 4 (H) Dengan Skala: 100 Mm.
(Gauvin, 2012)



Gambar 2.3 (A) Proses 3D Bioprinting, (B) *Inject Bioprinting* (C) *Laser-Assisted Bioprinting* (D) *Extrusion Bioprinting* (E) *Stereolithography Bioprinting*
(Christian, 2015)

Berikut metode-metode *bioprinting* yang sering digunakan dalam dunia medis yaitu ditunjukkan pada gambar 2.3. Contoh dalam pembuatan *3D bioprinting*, salah satunya adalah berbahan alginat. Alginat dengan biokompatibilitas yang baik dan gelasi (*gelling*) yang mudah dengan adanya kation divalen dalam kondisi fisiologis telah digunakan secara luas untuk *delivery drug* dan *tissue engineering* (Gombotz, 2012 dan Stone, 2013). Menariknya,



alginat juga telah banyak diteliti sebagai *bioink* untuk *3D bioprinting*. Alginat *bioink* dalam larutan konsentrasi rendah (0.5-6%) adalah hasil setelah pencetakan dengan metode *ekstrusion* melalui nozel cetak (Khalil, 2005 dan Xu, 2013). Hasilnya berupa deformasi dalam bentuk struktur 3D. Untuk mengatasi masalah ini, sol alginat dicetak menjadi larutan ion kalsium untuk menjaga struktur 3D selama material dicetak, sekaligus menghasilkan ikatan silang (Gao, 2015).

2.2 Material untuk *Scaffold*

Tissue engineering bertujuan untuk mengembangkan pengganti biologis fungsional dalam rangka mengganti atau mengembalikan jaringan yang rusak akibat penyakit atau luka parah dengan menggunakan prinsip-prinsip biologi sel, ilmu material, dan biomedis rekayasa (Mravic, 2016). Komponen yang dibutuhkan untuk rekonstruksi jaringan hidup meliputi sel, material utama penyusun *scaffold*, dan stimulasi pertumbuhan sinyal. Banyak upaya telah dilakukan untuk mengembangkan material *scaffold*. Tidak hanya menyediakan platform mekanis tetapi juga lingkungan buatan untuk sel meliputi pertumbuhan, perkembang biakan, berdiferensiasi, dan mempertahankannya fungsi (B.B Mandal, 2009). Untuk regenerasi jaringan yang berhasil, prasyarat dari *scaffold* meliputi struktur 3D, berpori, biodegradable, biresorbsi dan mempunyai kekuatan mekanik (Mao Ye, 2014). Di antara berbagai kandidat biomaterial, hidrogel, yang berupa jaringan polimer tiga dimensi, biokompatibilitas, dan sifat fisik yang dapat diatur semakin banyak dimanfaatkan untuk pengembangan *scaffold* (Abbas, 2008).

Untuk regenerasi jaringan yang berhasil, prasyarat dari *scaffold* meliputi:

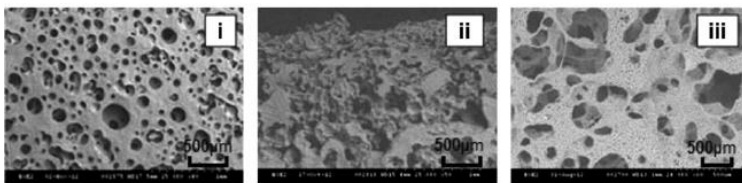
1. Tiga dimensi saling berhubungan struktur berpori (M Lien, 2009) untuk memungkinkan adhesi, pertumbuhan, dan migrasi sel pengiriman nutrisi yang efisien, faktor regulasi dan oksigen ke sel.



2. Biodegradasi dan bioresorpsi terkendali agar sesuai dengan laju pembentukan jaringan (Q Zhang, 2013).
3. Kekuatan mekanik untuk memberikan dukungan kepada sel dan menjaga struktur *scaffold* (J.E Davies, 2004).
4. Kelayakan untuk membuat berbagai macam geometri untuk memenuhi kebutuhan yang berbeda (C. Ji, 2013).

Scaffold untuk rekayasa jaringan tulang merupakan metode yang menjanjikan untuk pengobatan kehilangan dan cacat tulang dimana *scaffold* ini diharuskan memiliki osteokonduktivitas dan biodegradasi (Manjubala, 2006). Ditunjukkan bahwa ukuran porositas (pori-pori) *scaffold* di kisaran 100-400 μm menguntungkan untuk kolonisasi sel, proliferasi dan penetrasi (Mikos AG, 1993 dan Karageorgiou V, 2005).

Pelajaran sebelumnya *scaffold* rekayasa jaringan yang dilaporkan dapat dibuat dengan bahan biodegradable termasuk polyvinil alcohol (PVA), poli-kaprolakton (PCL), asam polylactic (PLA), asam poliglikolat (PGA), dan polylactic-co-glycolic asam (PLGA) (Nair, 2007). Namun, kekuatan tekan dan modulus Young dari bahan ini tidak mirip dengan jaringan hidup dan beberapa bahan ini sering perlu dilarutkan dengan pelarut yang sangat beracun (Gunatillake, 2003 dan Sohler, 2008). Contoh *scaffold* berbahan PVA ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Gambar SEM *Scaffold* Berbahan PVA dengan Tingkat Pengadukan yang Berbeda, Waktu yang Sama Menghasilkan Porositas yang Berbeda.
(Mao Ye, 2014)

Di penelitian ini, kami menggunakan biokomposit berbasis polimer yaitu alginat/polyvinil alkohol (PVA)/bentonit, dimana ketiga bahan tersebut memiliki sifat larut dalam air, tidak beracun, biokompatibel, dan polimer biodegradable untuk pembuatan *scaffold*.

2.3 Rumput Laut Cokelat

Di Indonesia terdapat banyak jenis rumput laut, diantaranya bernilai ekonomis cukup tinggi seperti alga coklat *Sargassum*. *Sargassum sp.* sangat melimpah serta tersebar luas di perairan Indonesia. Menurut Kadi (2005), *Sargassum sp.* mengandung bahan alginat dan iodin yang digunakan pada industri makanan, farmasi, kosmetik dan tekstil. Selain itu juga, *Sargassum sp.* mengandung senyawa-senyawa aktif steroida, alkaloida, fenol, dan triterpenoid berfungsi sebagai antibakteri, antivirus, dan anti jamur (Kusumaningrum, 2007).

Alga coklat berbentuk benang atau lembaran, bahkan ada yang menyerupai tumbuhan tingkat tinggi dengan bagian-bagian serupa akar, batang, dan daun. Menurut Atmadja (2012), habitat alga coklat tumbuh di perairan pada kedalaman 0.5-10 m ada arus dan ombak. Alga coklat hidup di daerah perairan yang jernih yang mempunyai substrat dasar batu karang dan dapat tumbuh subur pada daerah tropis.

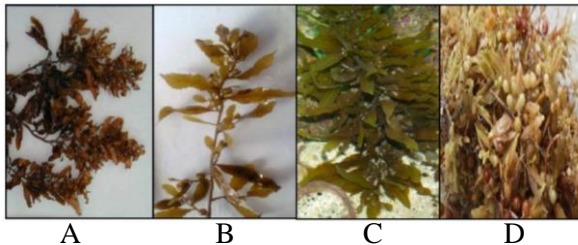
Phaeophyta yang dimanfaatkan sebagai penghasil alginat adalah *Macrocystis*, *Turbinaria*, *Padina* dan *Sargassum sp.*



(Rasyid 2003). *Sargassum* merupakan bagian dari kelompok rumput laut coklat (*Phaeophyceae*) dan genus terbesar dari famili *Sargassaceae* (Dawes, 1981; Estiati 1994; Tjitrosoepomo, 2001; 2005). Klasifikasi *Sargassum* adalah sebagai berikut (J. Agardh 1884 dan Erulan, 2009),

Divisi : Thallophyta
Kelas : Phaeophyceae
Ordo : Fucales
Famili : Sargassaceae
Genus : *Sargassum*
Spesies : *Sargassum sp*

Hasil ekstraksi *Sargassum sp.* berupa alginat banyak digunakan industri bidang farmasi (Tjitrosoepomo, 2005 dan Poncomulyo, 2006). Contoh gambar jenis-jenis *Sargassum sp.* ditunjukkan pada gambar 2.5 dan tabel 2.2 memberikan penjelasan tentang kandungan dan manfaat dari masing-masing jenis *Sargassum sp.*



Gambar 2.5 A) *Sargassum binderi*, B) *Sargassum crassifolium*, C) *Sargassum duplicatum*, D) *Sargassum sp.*
(Chalvyn, 2016)

Tabel 2.2 Kandungan dan Manfaat Rumput Laut Genus *Sargassum* (Chalvyn, 2016)

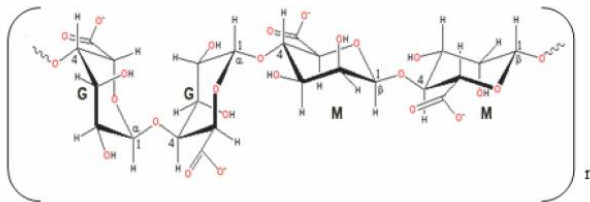
Jenis	Kandungan	Manfaat	Sumber
<i>Sargassum binderi</i>	Protein, Vitamin C, tanin, iodine,	Antioksidan, Bahan Pangan,	Kadi (2005) Noviendri (2011)



	fenol, alginat, fukosantin, asam lemak	Obat-obatan, Kosmetik dan Tekstil	
<i>Sargassum crassifolium</i>	Protein, Vitamin C, tanin, iodine, fenol, alginat, asam amino, asam lemak, mineral (Ca, Fe, P)	Bahan Pangan, Obat-obatan, Kosmetik dan Tekstil	Kadi (2005) Handayani (2004)
<i>Sargassum duplicatum</i>	Protein, Vitamin C, tanin, iodine, fenol, alginat, flavonoid, phlorotannin, alkaloid	Bahan Pangan, Obat-obatan, Kosmetik dan Tekstil	Kadi (2005) Aulanni (2011)
<i>Sargassum sp</i>	Protein, Vitamin C, tanin, iodine, fenol, alginat	Bahan Pangan, Obat-obatan, Kosmetik dan Tekstil	Kadi (2005)

2.4 Alginat

Alginat secara alami berada pada dinding sel rumput laut coklat. Polisakarida alami ini banyak digunakan di berbagai bidang industri khususnya dibidang biomedis dan farmasi karena sifatnya yang seperti *gelling*, *viscosifying* dan *stabilization of dispersions*. Alginat diekstraksi dalam bentuk natriumnya karena kelarutannya dalam air (Draget, 2006). Pada tingkat molekuler, alginat adalah kopolimer biner linier dari asam β -D-mannuronat (1-4) berikatan (M) dan α -L-guluronik monomer asam (G), yang merupakan struktur blok M-, G-, dan MG-sekuensial seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 (Moe, 1995).



Gambar 2.6 Asam Alginat Terdiri dari Unit G dan M
(Atkins, 1971)

Alginat mengandung kopolimer berganti yang selang-seling keduanya (Glickman, 1979). Secara keseluruhan, polimer alginat membentuk rantai panjang (100-3000 unit) yang fleksibel (Truss, 2001). Urutan monomer (M, G) dapat berbeda antara spesies alga dan juga pada jaringan yang berbeda dari spesies yang sama. Rasio dan struktur blok memiliki efek penting pada sifat fisik-kimia alginat.

Sodium Alginat (Na-alginat) adalah biopolimer karbondioksida linier poly-anionik, tidak beracun, biokompatibel, non-imunogenik dan biodegradable yang berasal dari rumput laut dan terdiri dari dua unit monomer (asam-asam-mannuronat (blok-M) dan -l-guluronic-acid (G-blok)). Ini telah banyak diteliti karena biaya pengolahannya yang tidak mahal (Mohamadnia, 2007). Telah digunakan sebagai zat pengental, zat pembentuk gel, dan sebagai penstabil koloid (Is, iklan, Ina, & Yi~gito~glu, 2008). Bentuk sodium alginat yang telah banyak dijual seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Sodium Alginat Komersil
(Emil, 2013)

Proses ekstraksi rumput laut coklat dapat dilakukan melalui berbagai cara. Pada dasarnya, teknik ekstraksi dilakukan melalui tahap demineralisasi, netralisasi, ekstraksi, filtrasi, presipitasi, dan pemucatan. Proses ini memungkinkan konversi asam alginat menjadi berbagai produk yang fungsional, seperti kalsium alginat, potassium alginat, atau natrium alginat (Yulianto K, 2007).

2.4.1 Hidrogel Alginat

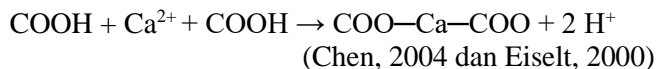
Alginat adalah molekul rantai panjang dengan banyak ion negatif (anion). Pada proses penambahan air, molekul-molekul alginat terhidrasi (pengikatan air) (King AH, 1982). Asam alginat tidak larut dalam air, hanya swelling (mengembang). Alginat yang mengandung kation Na^+ , Ca^{2+} , atau K^+ dapat larut dalam air panas maupun dingin dan membentuk larutan stabil. Kation, pelarut ataupun polimer lain memengaruhi kelarutan, viskositas, gelasi, ataupun pengendapan alginat. Kation/senyawa tersebut berkompetisi dengan gugus hidroksil dari air. Kation sangat kuat mengikat air karena kandungan karboksilatnya. Larutan alginat mengental, dengan kata lain memperoleh viskositasnya.



Viskositas larutan alginat dapat menurun maupun meningkat yang disebabkan oleh berbagai faktor. Viskositas alginat dipengaruhi oleh konsentrasi, bobot molekul, suhu, pH, dan keberadaan garam. Semakin tinggi konsentrasi atau bobot molekul, maka semakin tinggi viskositasnya. Sebagaimana larutan polisakarida lainnya, dengan adanya peningkatan suhu, maka terjadi penurunan pada viskositas larutan alginat. Viskositas akan meningkat kembali pada pengembalian suhu larutan alginat semula (McHugh DJ, 1987). Selain itu, viskositas alginat sangat bergantung pada susunan molekul manuronat dan guluronat. Semakin banyak jumlah molekul unit M di dalam alginat, maka semakin rendah viskositasnya, dan semakin tinggi jumlah molekul unit G semakin tinggi viskositas alginat (Saphiro L, Cohne S, 1999).

Menurut standar Sigma (Sigma-Aldrich, 2004), nilai viskositas dibagi dalam tiga tingkatan, yaitu tingkatan tertinggi sebesar 14.000 cP, tingkatan sedang 3.500 cP, dan tingkatan rendah 250 cP yang diukur pada suhu 25°C dengan konsentrasi larutan 2% (b/v).

Sodium alginat (natrium alginat) yang dapat larut, bias diubah menjadi sebuah hidrogel melalui ikatan silang dengan kation divalen (mis. Ca^{2+}) sebagai berikut. Reaksi:



2.4.2 Karakteristik Alginat Sebagai Bahan Biomaterial

Era sekarang alginat digunakan sebagai material penyusun *tissue engineering scaffolds*. Dalam dunia *tissue engineering* ini alginat bersifat biokompatibilitas sehingga memudahkan proses regenerasi sel.

Biokompatibilitas alginat ini termasuk biodegradabilitas dan ukuran pori untuk pertumbuhan sel



diperlukan (Khalil, 2009). Biodegradabilitas merupakan faktor penting karena alginat nantinya diserap oleh jaringan sekitarnya. Sehingga dibutuhkan alginat yang murni dimana tidak ada impuritasnya (McHugh, 2003). Selanjutnya, porositas tinggi dan ukuran pori-pori yang memadai ditujukan untuk bisa menghasilkan benih dan tempat tumbuh sel dengan kata lain untuk mengamankan sifat mekanik alginat yang sesuai untuk sel (Khalil, 2009 dan Bernhardt, 2009). Untuk ini, alginat harus bisa dihubungkan melalui ikatan silang antara ionik dengan kation divalen yang bertindak sebagai jembatan (Kuo, 2001 dan Kakita, 2008). Faktor penting untuk alginat *cross-linked* adalah adanya gugus fungsional karboksil dan karbonil (Mohan, 2005). Selain itu, keberadaan kelompok fungsional tersebut sangat berpengaruh karena mereka meniru bagian dari kelompok protein manusia (James, 2005).

2.5 Polivinil Alkohol

Polivinil-alkohol (PVA) adalah poliester hidrofilik linier sederhana yang mengandung gugus hidroksil, dan diproduksi secara komersial dari polivinil asetat. Polivinil-alkohol (PVA) termasuk polimer sintesis yang diproduksi karena sifatnya yang diinginkan yaitu ketahanan kimia yang baik, stabilitas termo, degradabilitas lengkap, dan kemampuan pembentukan film. Bahan ini menarik untuk digunakan di lensa kontak lembut, di ruang bedah, transplantasi sela hibrida, implantasi dan operasi sendi rekonstruksi ulang sebagai tulang rawan sintesis (Guirguis & Moselhey, 2012). Dalam beberapa tahun terakhir, PVA telah digunakan dalam aplikasi farmasi dan biomedis untuk sistem peredaran pengiriman obat (*drug delivery*) dapat dikendalikan karena sifat *degradable* dan *non-toxic* (Peppas, 2000).

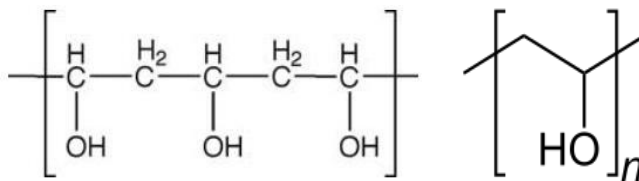
PVA adalah polimer yang mudah larut dalam air dengan *spinnability* dan *biocompatibility* yang baik yang telah banyak diterapkan untuk membangun konstruksi berserat. Rekayasa



jaringan ini antara lain seperti saraf (Royo, 2013 dan Naghavi, 2015), jantung (Thankam, 2013), dan sistem vascular (Shalumon, 2011).

PVA menunjukkan keunggulan terhadap interaksi permukaan yaitu tahan terhadap gesekan (*friction*) dan keausan (*wearness*), serta memiliki permukaan yang licin (*lubrication*), sehingga dapat mencegah terjadinya erosi dan korosi (Zheng, 1998; Stammen, 2001; Suci, 2004).

Struktur dari polyvinyl alkohol adalah seperti Gambar 2.8 dan table 2.3 menunjukkan karakteristik polyvinil alkohol. Polyvinil alcohol komersil yang sering ditemukan dalam kehidupan sehari-hari terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.8 Struktural Polyvinyl Alkohol
(*Chemical and Technical Assessment*, 2004)

Tabel 2.3 Karakteristik Polyvinil Alkohol

Properties	
Chemical Reactions	(C ₂ H ₄ O) _x
Density	1.19-1.31 g/cm ³
Melting Point	200 °C (392°C ; 473 K)
Boiling Point	228 °C (442 °F ; 501 K)

(Mao Ye, 2014)



Gambar 2.9 Butiran Polyvinil Alkohol (PVA)
(Mao Ye, 2014)

2.5.1 Karakteristik Polyvinil Alkohol (PVA) Sebagai Bahan Biomaterial

Struktur kerosos sering dibuat dalam material PVA untuk dikendalikan dalam pelepasan obat, karena obat tersebut pertama kali larut ke lokasi berpori lalu berdifusi ke ruang luar. Dengan demikian, perilaku pelepasan bisa jadi diatur dengan mengatur morfologi berpori dari material PVA tersebut. Cara mengaturnya antara lain menggunakan *template-based foaming techniques* (Hentze, 2002 dan Silverstein, 2014), *gas-based techniques* (Dehghani, 2011 dan Reverchon, 2012), dan *thermally induced phase separation* (Chen, 2010). Namun, beberapa metode membutuhkan pelarut organik dalam jumlah besar. Timbulnya porositas sering terjadi sehingga terbentuk pori-pori yang lebih banyak. Hal ini dapat diatur dengan mengatur konsentrasi campuran PVA dengan konsentrasi pelarut yang digunakan. Material PVA dengan struktur berpori biasanya memiliki sifat mekanik yang agak rendah (Xue-Hua Zhou, 2016).

2.6 Bentonit

Bentonit adalah polimer anorganik alami yang terdiri dari sebagian besar mineral tanah liat yang dapat diupgrade, seperti *montmorilonit*, *beidellite*, dan *nontronit*, dalam lapisan tiga



struktur. Bentonit merupakan zat tambahan penting dalam produk medis karena sifat fisika-kimia, mekanik, dan sifat biologis seperti tidak adanya toksisitas (*non toxic*), sifat penyerapan, pengembangan, dan pembentukan kompleks (Mostafa, 2007 dan Sakai, 2004). Khususnya, bentonit umumnya memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi sampai 10 kali beratnya sendiri, yang bisa meningkatkan kemampuan hidrogel yang dimuati obat dalam jaringan manusia. Selain itu, bentonit mudah didapat dan murah sehingga memenuhi dasar persyaratan untuk polimer-pendukung hidrogel (Lienmann, 1982 dan Tien, 2007)

Rumus kimia umum bentonit adalah $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. 85 % kandungan bentonit adalah montmorilonit (Megawati Aviantari, 2008). Gambar 2.10 menunjukkan butiran bentonit komersil yang ditemukan dalam kehidupan sehari-hari.



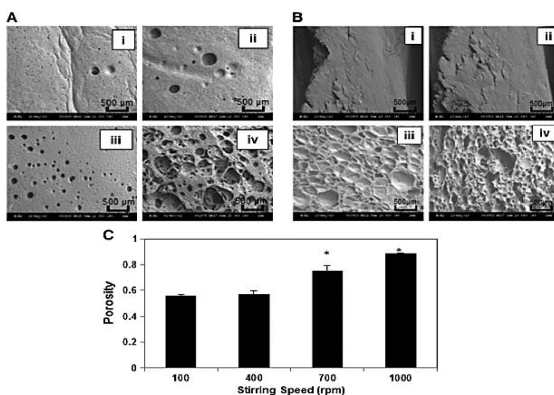
Gambar 2.10 Butiran Bentonit
(Wikipedia)

2.7 Penelitian Sebelumnya

Mao Ye (2014) menjelaskan penelitian tentang perkembangan dan karakterisasi *scaffold* PVA mikro tiga dimensi (3D) yang sangat sederhana. Metode ini termasuk pembuatan pori-pori dengan pengadukan mekanis larutan PVA yang diikuti dengan pengeringan beku untuk membuat *scaffold* dengan pori-pori yang saling terkontrol. Di sini Mao Ye dkk., menggunakan surfaktan (Triton X-100) untuk mengurangi tegangan permukaan dan menstabilkan gelembung udara yang terperangkap. Setelah agitasi, *scaffold* ditempatkan pada -80°C dan vakum lalu dikeringkan untuk mendapatkan struktur polimer berpori yang terkontrol.



Surfaktan kemudian diencerkan dari *scaffold* dengan merendam *scaffold* di air. Berat molekul PVA, konsentrasi surfaktan, waktu pengadukan, dan kecepatan pengadukan terhadap karakteristik pori-pori, sifat mekanik, rasio pengembangan (*swelling*), dan laju degradasi dari *scaffold* ditandai sebagai variabel yang diuji/kontrol. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil yang menunjukkan perkembangan struktur 3D dengan pori-pori yang saling berhubungan. Metode sederhana ini melibatkan formasi dari bentuk pori yang dikontrol dengan pengadukan mekanis larutan PVA diikuti dengan pengeringan beku. Dampak dari parameter yang berbeda meliputi waktu berbusa, laju pengadukan, dan surfaktan konsentrasi pada sifat *scaffold*, diteliti. Dalam penelitian ini, Mao Ye dkk., menetapkan bahwa 60 detik agitasi mekanis pada tingkat pengadukan 1000 rpm yang dijelaskan pada gambar 2.11 dengan adanya konsentrasi surfaktan 5% menghasilkan *scaffold* dengan struktur berpori yang saling berhubungan. Mao Ye dkk., juga menemukan bahwa rantai polimer yang lebih panjang memudahkan pembentukan pori-pori yang saling berhubungan.



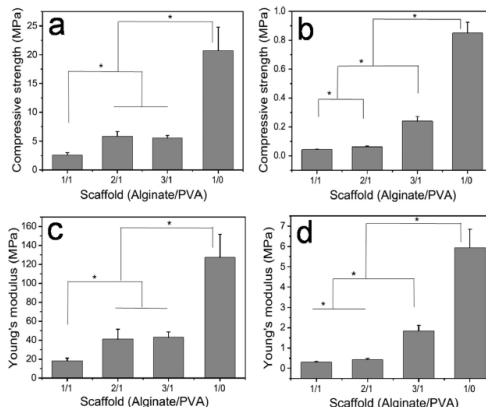
Gambar 2.11 Pengaruh tingkat pengadukan yang berbeda (100, 400, 700, dan 1000 rpm) terhadap karakteristik pori *scaffold* selama 60 detik.
(Mao Ye, 2014)



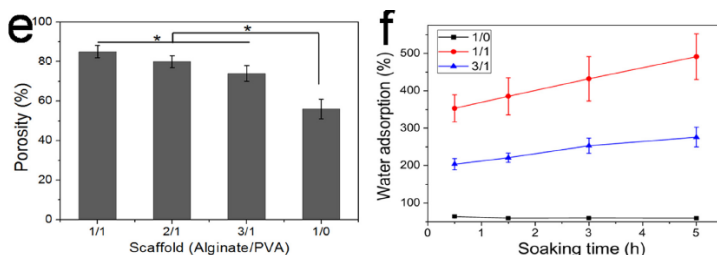
Yongxiang Luo (2016) menjelaskan penelitian berupa 3D bioprinting dari *scaffold* berpori yang dikembangkan dengan menggunakan biokomposit alginat/polivinilalkohol (PVA) sebagai bahan utama *scaffold*. Pasta homogen alginat/PVA menunjukkan potensi besar dalam bioprinting 3D. Sifat dari *scaffold* yang disiapkan seperti porositas, adsorpsi air, sifat mekanik dan pengiriman protein, dapat disesuaikan dengan menyesuaikan rasio masa alginat/PVA. Komposisi antara alginat/PVA yang dapat dikatakan sebagai kandidat *scaffold* dari hasil penelitian ini yaitu 3/1 (alginat/PVA) dengan rincian penjelasan pada gambar 2.12. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan makro poros dari *scaffold* yang dikendalikan oleh pencetakan 3D, sementara mikro poros saling terkait atau berikatan dengan sol PVA. Adanya mikro poros meningkat secara signifikan adsorpsi air, dan penurunan sifat mekanik *scaffold* yang dijelaskan pada gambar 2.13 dan 2.14.

Alginate/ PVA (mass ratio)	Alginate concentration	PVA con- centration (w/ v)	PVA so- lution (g)	Water content (g)	Printing pressure (bar)
3/1	18.2 wt%	6%	5.5	5.17	5.6
2/1	15.4 wt%	7.7%	6.5	6.0	4.1
1/1	12.5 wt%	12.5%	8.0	7.0	3.2
1/0	18.2 wt%	–	–	5.5	4.5

Gambar 2.12 Parameter bioinks alginat/PVA
(Yongxiang Luo, 2016)



Gambar 2.13 Kekuatan tekan (a, b) dan modulus Young (c, d) dari *scaffold* alginat/PVA dicetak 3D dalam kondisi kering (a, c) dan wet (b, d).
(Yongxiang Luo, 2016)



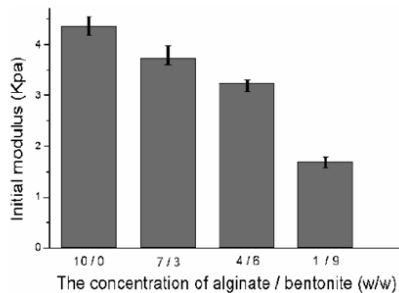
Gambar 2.14 Perbandingan porositas (e) dan adsorpsi air (f) *scaffold* dicetak 3D dengan rasio alginat/PVA yang berbeda.
(Yongxiang Luo, 2016)

Hina Anwar dan Mahmood Ahman (2017) menjelaskan penelitian tentang *interpenetrating network* (IPN) hidrogel berdasarkan kombinasi polimer alami (Na-alginat) dan sintetis (PVA) telah disintesis dengan memasukkan tramadol HCl sebagai *model drug*. Beberapa metode terbaru dalam pembuatan hidrogel

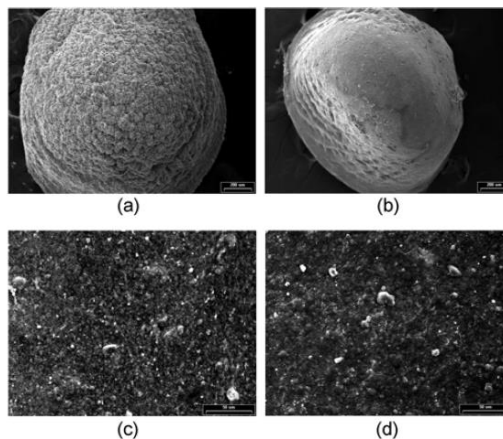


natrium alginat / PVA melalui interaksi fisik meliputi *solvent casting* (Kulkarni, 2010) dan *freeze thawing* (Martínez-Gómez, 2017), sementara dalam penelitian ini Hina Anwar dan Mahmood Ahman telah merumuskan hidrogel Na-alginat/PVA menggunakan metode *crosslinking* kimia yaitu polimerisasi radikal bebas. Material dikembangkan untuk mengetahui dampak dua faktor independen yaitu rasio campuran polimer (Na-alginat : PVA) dan monomer (AMPS). Dan hidrogel Na-alginat/PVA dapat dijadikan kandidat sebagai material *drug delivery* hidrofilik.

Seung-Taek Oh dan Oh-Jin Kwon (2008) menjelaskan tentang hidrogel alginat/bentonit yang dirancang untuk dibuat *protein drug release* melalui pencegahan pelepasan yang terlalu cepat di lingkungan asam kulit. Dalam penelitian ini, Seung-Taek Oh dan Oh-Jin Kwon menganalisis struktur kimia dari hidrogel alginat oleh FT-IR. Pengembangan (*swelling*), pelepasan, dan sifat mekanik dari hidrogel diteliti sebagai fungsi konsentrasi bentonit. Komposisi yang diunggulkan dari penelitian ini yaitu 7/3 (alginat/bentonit) w/w yang dijelaskan pada gambar 2.15. Seung-Taek Oh dan Oh-Jin Kwon menggunakan uji XTT untuk menguji sitotoksitas (*cytotoxicity*) hidrogel alginat. Sebagai hasilnya yaitu tingkat *drug deliver* dan jumlah pelepasannya dari material hidrogel alginat/bentonit adalah berbeda tergantung pada kondisi pH dan dipengaruhi juga oleh rasio pencampuran alginat/bentonit. Pada uji sitotoksitas (*cytotoxicity*), hidrogel tidak beracun (*non-toxic*) terhadap sel manusia. Sebagai kesimpulan, Seung-Taek Oh dan Oh-Jin Kwon mengembangkan hidrogel alginat pH-sensitif yang memiliki kapasitas baru *drug delivery* seperti gambar hasil SEM gambar 2.16. Selanjutnya, tingkat dan jumlah *drug deliver* dari hidrogel ini bisa diubah oleh penambahan bentonit.



Gambar 2.15 Rasio pencampuran alginat/bentonit terhadap modulus kompresif dari hidrogel alginat/bentonit.
(Seung-Taek Oh, 2008)



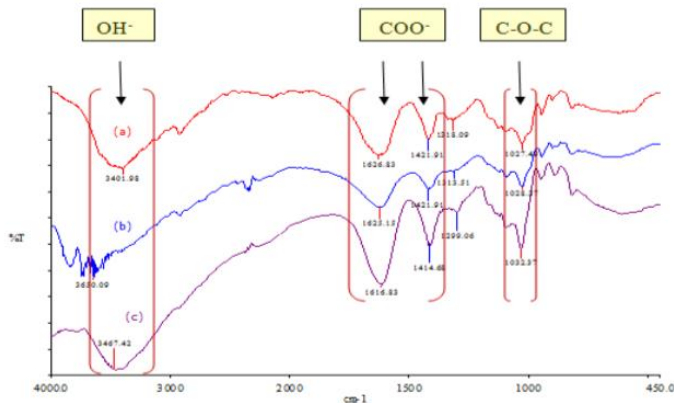
Gambar 2.16 Hasil SEM (a) alginat 70%/bentonit 30% permukaan hidrogel ($\times 75$), (b) alginat 30%/bentonit 70% permukaan hidrogel ($\times 75$), (c) alginat 70%/bentonit 30% penampang hidrogel ($\times 500$), dan (d) alginat 30% / bentonit. Penampang hidrogel 70% ($\times 500$).
(Seung-Taek Oh, 2008)

Berdasarkan dari tinjauan pustaka dan penelitian sebelumnya yang menjadi dasaran, maka dengan ini dilakukan



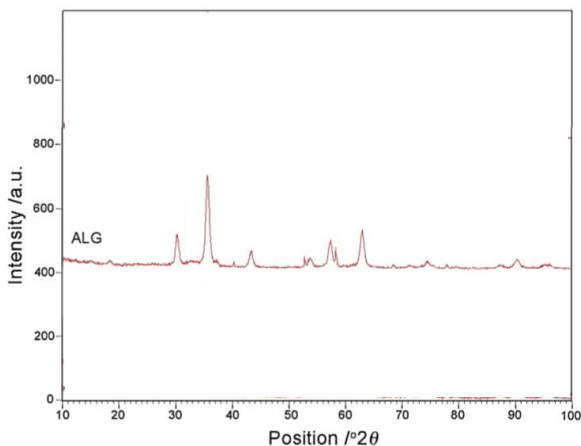
penelitian gabungan dari material tentang biokomposit berbasis hidrogel alginat/PVA/bentonit yang akan diuji karakterisasi morfologi dan sifat fisiknya (viskositas dan *biodegradable*) untuk dapat menjadi salah satu kandidat material perancah untuk regenerasi tulang rawan.

Pada penelitian Decky dan Emil (2013), menjelaskan tentang hasil ekstraksi sodium alginat yang berasal dari *S. duplicatum* dan *S. crassifolium* sebagai bahan alternatif pengganti dari sodium alginat komersil. Hasil penelitian ini menerangkan bahwa hasil FT-IR dari setiap ekstraksi sodium alginat memiliki gugus fungsi yang sama dengan peak-peak gelombang yang mirip sodium alginat komersil, dan ditunjukkan pada gambar 2.17,



Gambar 2.17 Hasil FT-IR Sodium Alginat Ekstraksi (a) *S. duplicatum* dan (b) *S. crassifolium*, dengan Sodium Alginat Komersil (Decky, 2013).

Penelitian Julia (2015) menjelaskan tentang hasil XRD dari sodium alginat komersil dengan *molecular weight*: 12 kDa, *medium viscosity*) Sigma–Aldrich. Hasil XRD menampilkan struktur semikristalin dari sodium alginat dimana terdapat peak puncak $2\theta = 18,7^\circ; 22,2^\circ; 29,2^\circ; 32,5^\circ; 37,1^\circ$.



Gambar 2.18 Difraktogram XRD Sodium Alginat (*molecular weight: 12 kDa, medium viscosity*) Sigma–Aldrich. (Julia, 2015)

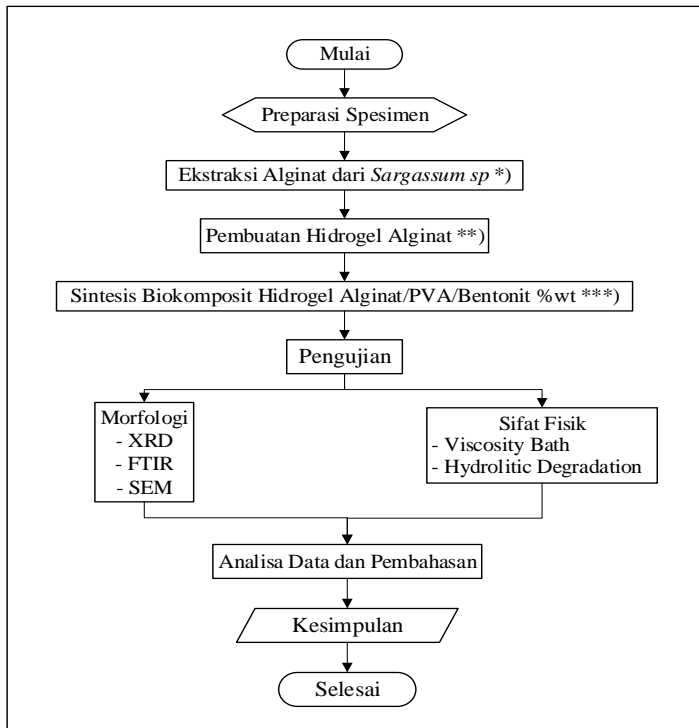


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

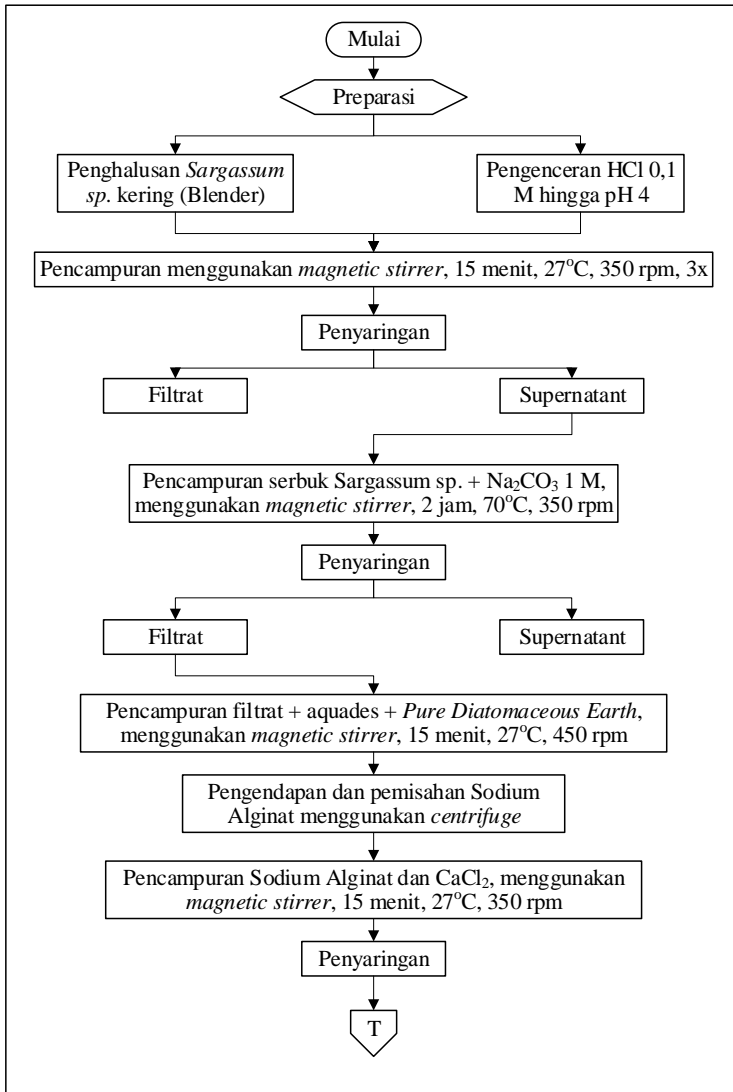
Urutan dari penelitian secara umum ditunjukkan pada gambar 3.1. Sedangkan proses pengekstrasian sodium alginat jalur CaCl_2 secara sistematis disajikan pada gambar 3.2, selanjutnya sintesis hidrogel alginat pada gambar 3.3 dan sintesis biokomposit hidrogel alginat/polyvinilalkohol/bentonit ditunjukkan pada gambar 3.4.

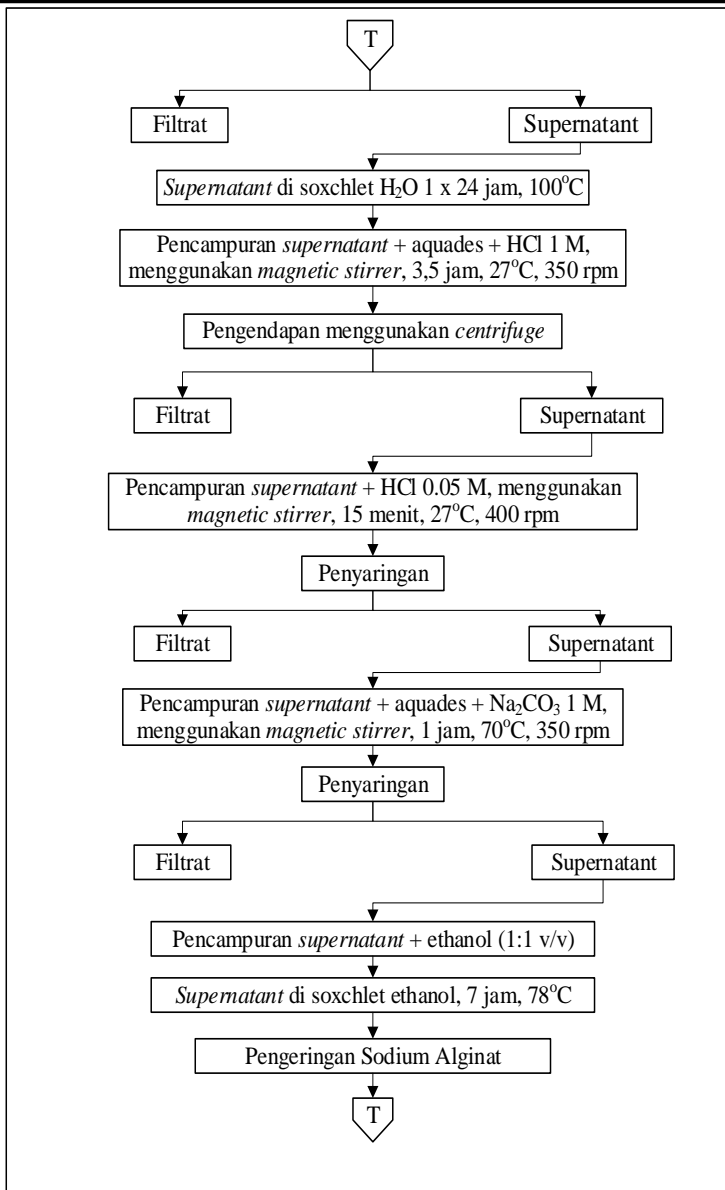


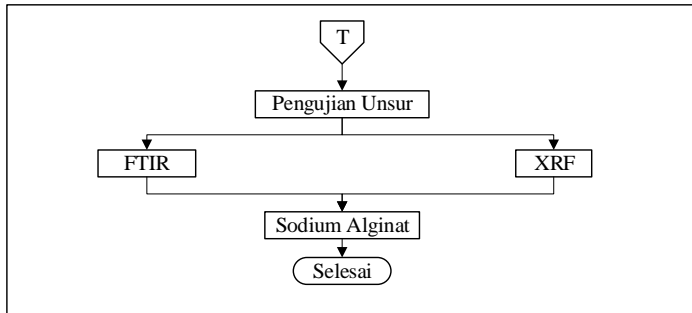
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



*) Diagram Alir Ekstraksi Alginat dari *Sargassum sp.* Melalui Jalur CaCl_2

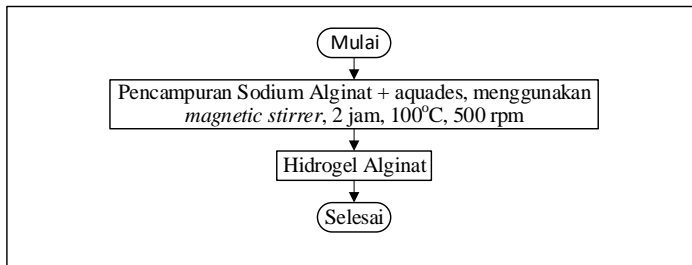






Gambar 3.2 Ekstraksi Alginat dari *Sargassum sp.* jalur CaCl_2

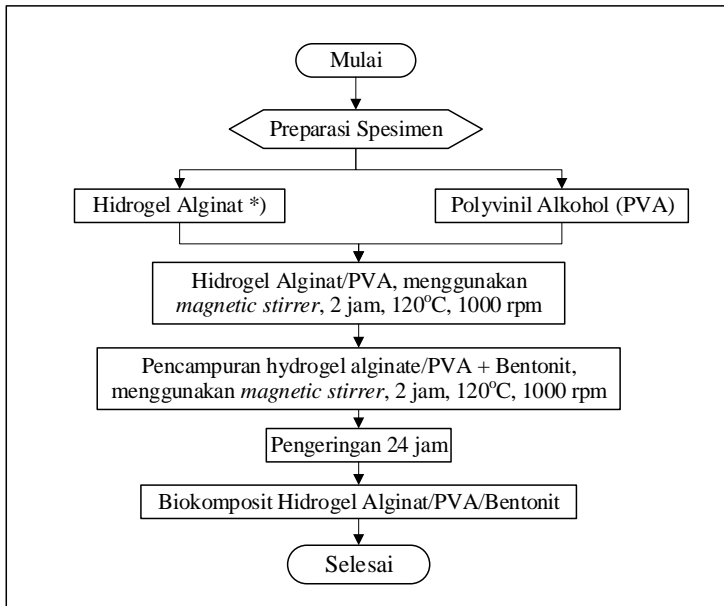
***) Diagram alir sintesis hidrogel alginat



Gambar 3.3 Sintesis Hidrogel Alginat



***) Diagram alir sintesis biokomposit hidrogel Alginat/PVA/Bentonit



Gambar 3.4 Sintesis Biokomposit Hidrogel Alginat/PVA/Bentonit

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

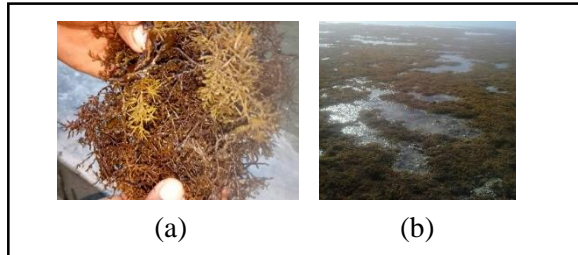
Dalam penelitian ini terdapat beberapa bahan yang digunakan, yaitu

1. *Sargassum sp.*

Merupakan jenis rumput laut cokelat yang mengandung alginat. Didapat dari Gili Genting, Sumenep, Madura, Jawa Timur. Mempunyai batang dan daun yang lunak mirip dengan tumbuhan tingkat tinggi dimana tidak dapat dibedakan bagian-bagian tubuhnya dan terdapat tallus. Hidup diantara karang-



karang di pinggir perairan. Digunakan dalam bentuk kering setelah dicuci dan dijemur dibawah matahari selama 24 jam *non stop*. *Sargassum sp.* ini ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 (a). Gambar Kiri Menunjukkan *Sargassum sp.* yang digunakan dan (b). Gambar Kanan Menunjukkan Hamparan *Sargassum sp.* di Pantai Gili Genting, Sumenep, Madura, Jawa Timur saat air sedang surut.

2. HCl 37%

Digunakan dalam bentuk larutan kuning pekat 37% lalu diencerkan sesuai konsentrasi yang diperlukan. Memiliki bau menyengat, bersifat korosif, dan berbahaya bagi tubuh. Diperlukan dalam proses pengekstrasian sodium alginat dari *Sargassum sp.* Didapat dari PT. Sumber Ilmiah Persada Surabaya.

3. *Ethanol* Teknis 96%

Digunakan dalam bentuk larutan putih, berbau menyengat, bila terkena kulit terasa dingin dan berbahaya bagi tubuh. Diperlukan dalam proses pengekstrasian dan pemurnian sodium alginat dari *Sargassum sp.* Didapat dari PT. Sumber Ilmiah Persada Surabaya.



4. *Calcium Chloride* (CaCl_2)

Berbentuk pallete putih sehingga harus dilarutkan terlebih dahulu dengan aquades sesuai konsentrasi yang dibutuhkan. Tidak berbau, berwarna putih, dan berbahaya bagi tubuh. Diperlukan dalam proses pengekstrasian dan pemurnian sodium alginat dari *Sargassum sp.* Didapat dari PT. Sumber Ilmiah Persada Surabaya.

5. *Natrium Carbonat* (Na_2CO_3)

Berbentuk serbuk putih sehingga harus dilarutkan terlebih dahulu dengan aquades sesuai konsentrasi yang dibutuhkan. Tidak berbau, berwarna putih, dan berbahaya bagi tubuh. Diperlukan dalam proses pengekstrasian dan pemurnian sodium alginat dari *Sargassum sp.* Didapat dari PT. Sumber Ilmiah Persada Surabaya.

6. *Sodium Hydroxide* (NaOH)

Berbentuk serbuk putih sehingga harus dilarutkan terlebih dahulu dengan aquades sesuai konsentrasi yang dibutuhkan. Tidak berbau, berwarna putih, dan berbahaya bagi tubuh. Diperlukan dalam proses pengekstrasian dan pemurnian sodium alginat dari *Sargassum sp.* Didapat dari PT. Sumber Ilmiah Persada Surabaya.

7. *PolyVinyl Alcohol* (PVA)

Berbentuk pallete putih sehingga harus dilarutkan terlebih dahulu dengan aquades sesuai konsentrasi yang dibutuhkan. Tidak berbau, berwarna putih, dan sedikit kental. Diperlukan dalam proses pembuatan biokomposit hidrogel alginat/PVA/bentoit. Didapat dari PT. Sumber Ilmiah Persada Surabaya.



8. Bentonit

Berbentuk serbuk cokelat terang sehingga harus dilarutkan terlebih dahulu dengan aquades sesuai konsentrasi yang dibutuhkan. Sedikit berbau, berwarna cokelat terang, dan kental. Diperlukan dalam proses pembuatan biokomposit hidrogel alginat/PVA/bentoit. Didapat dari Shinam Jaya

9. Sodium Alginat Komersil

Berbentuk serbuk putih sehingga harus dilarutkan terlebih dahulu dengan aquades sesuai konsentrasi yang dibutuhkan. Sedikit berbau, berwarna putih, dan kental. Diperlukan dalam proses pembuatan biokomposit hidrogel alginat/PVA/bentoit. Didapat dari Online Sigma Aldrich.

10. *Pure Diatomaceous Earth Fresh Water* (DE)

Berbentuk serbuk cokelat terang, tidak berbau. Diperlukan dalam proses pengekstrasian dan pemurnian sodium alginat dari *Sargassum sp.* Didapat dari tokopedia online Bogor UD. Bogor.

11. Aquadest

Digunakan dalam bentuk larutan encer putih, tidak berasa, tidak berbau, tidak mengandung mineral, dan tidak berbahaya bagi tubuh. Didapat dari PT. Sumber Ilmiah Persada Surabaya.

3.2.2 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa alat yang digunakan yaitu

1. Kertas Saring

Alat ini digunakan untuk menyaring atau memisahkan larutan dengan endapannya.

2. Gelas Beaker



-
- Alat ini digunakan sebagai tempat aktifitas kimia.
 3. Mikropipet
Alat ini digunakan untuk mengambil larutan kimia.
 4. Aluminium Foil
Alat ini digunakan untuk menutup larutan atau bahan lain yang berada pada gelas beaker atau gelas ukur agar tidak menguap (teroksidasi) dan terkena kotoran,
 5. *pH Paper*
Alat ini digunakan untuk mengetahui pH suatu larutan.
 6. Mortar
Alat ini digunakan untuk menghaluskan suatu bahan.
 7. Plastik Clip
Alat ini digunakan untuk meletakkan atau menyimpan hasil dari penelitian.
 8. Blender
Alat ini digunakan untuk menghaluskan bahan dari keadaan *raw material* hingga sangat halus.
 9. *Rubber Stopper*
Alat ini digunakan untuk menutup lubang pada *necking* di *Soxhlet Set Flask 1000 ml 3 Neck*.
 10. Tabung *Centrifuge*,
Alat ini digunakan untuk menampung larutan yang akan dimasukkan ke dalam alat *centrifuge*.
 11. *Centrifuge*
Digunakan untuk mendispersi partikel endapan dalam larutan.
 12. Spatula
Alat ini digunakan dalam pengadukan larutan dalam tabung.
 13. *Soxhlet Set Flask 1000 ml 3 Neck*
-



Alat ini digunakan untuk mengekstrak sekaligus memurnikan (*purification*) Sodium Alginat.

14. Thermometer Alkohol
Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur suatu larutan atau bahan.
15. *Hot Plate Stirrer Thermo Scientist*
Alat ini digunakan untuk mencampurkan serta mengaduk agar homogen.
16. Ayakan 200 Mesh
Alat ini digunakan untuk menyamaratakan ukuran partikel raw material dan hasil penelitian.
17. Neraca Analitik
Alat ini digunakan untuk mengukur massa dari bahan padatan.
18. Suntikan One-Med
Untuk membuat *scaffold* dengan cara diinjeksikan ke *platter*.
19. Instrumen Karakterisasi,
Untuk karakterisasi digunakan beberapa alat, yakni :
 - a. *X-Ray Diffraction* (XRD), alat karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui struktur dari hasil penelitian, kristalin atau amorfus.
 - b. *Fourier Transform Infrared* (FTI-R), alat karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui nilai gugus fungsi hasil penelitian.
 - c. *X-Ray Fluorescence* (XRF), alat karakterisasi ini digunakan mengetahui kadar unsur kimia dari suatu bahan yang hasilnya terdiri dari unsur dan oksida.
 - d. *Hydrolitic Degradation* (PBS Solution), larutan ini digunakan untuk mengetahui laju peluruhan (degradasi) suatu material.



- e. *Scanning Electron Microscope* (SEM), alat karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui morfologi suatu material.
- f. *Viscosity Bath* (Viskositas), alat ini digunakan untuk mengetahui nilai kekentalan (viskositas cair) dari suatu material berbahan cair.

3.3 Metode Penelitian EKSTRAKSI ALGINAT

Proses penelitian ini dimulai dengan mengekstraksi alginat dari *sargassum sp*

1. Membuat larutan dengan mencampur aquades 400 ml + 0.1 M HCl (dengan cara ditetaskan) hingga larutan tersebut mempunyai pH 4.
2. Serbuk Sargassum 10 gram dilembabkan dengan menggunakan larutan HCl nomor 1 sebanyak 100 ml diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan temperatur 27°C. Diulang sebanyak 3 kali.
3. Hasil disaring, yang diambil adalah serbuk sargassum yang telah lembab.
4. Serbuk sargassum yang telah lembab diletakkan di beaker dengan penambahan 1 M Na₂CO₃ sebanyak 250 ml dengan pH 11,5. Kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer dengan temperatur 60°C selama 2 jam kecepatan 350 rpm.
5. Disaring, yang digunakan adalah hasil larutannya.
6. Hasil larutan tersebut diencerkan kembali dengan 800 ml aquades ditambah 1 gram diatomaceous earth lalu diaduk 15 menit menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 450 rpm.
7. Larutan tersebut selanjutnya dipisahkan dengan pendiaman selama sehari lalu disaring dengan menggunakan kertas saring dan material yang terpisahkan berupa pasta (*Sodium Alginate*) dan larutan (aquades)



PEMURNIAN ALGINAT

Selanjutnya Sodium Alginat ini dimurnikan melalui jalur CaCl_2

Rute CaCl_2

1. Ekstraksi hasil no.7 (*Sodium Alginate*) ditambahkan 200 ml 1 M CaCl_2 lalu diaduk biasa dan ditunggu mengendap. Hasil tersebut disaring menggunakan kertas saring dan diambil endapannya
2. Endapan tadi dimasukkan ke dalam alat pemurnian soxhlet selama 2x24 jam dengan temperature hot plate stirrer 540°C dan temperature dalam H_2O (aquades) 100°C dalam keadaan vacuum dan stabil.
3. Selanjutnya, endapan tadi yang telah dikeluarkan dari soxhlet dicampur dengan 150 ml aquades dan 1 M HCl (ditetesin sampai pH 2) lalu diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer selama 3.5 jam temperature 27° . Selanjutnya diendapkan menggunakan centrifuge.
4. Material yang tidak larut dalam proses centrifuge akan mengendap (*Alginic Acid*). *Alginic Acid* ini dicuci dengan 1 L 0.05 M HCl, diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 15 menit dengan temperature 27°C . Selanjutnya disaring menggunakan kertas saring. Yang digunakan adalah endapannya.
5. Endapan hasil saringan tersebut ditambahkan 100 ml aquades ditambah 150 ml 1 M Na_2CO_3 kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam dengan temperature 27° lalu disaring diambil endapannya
6. Endapan tersebut dicampur ethanol 1 : 1 v/v secara perlahan lalu disaring menggunakan kertas saring dan yang diambil endapannya.
7. Endapan terakhir ini dimasukkan ke dalam alat pemurnian soxhlet selama 7 jam dengan temperature hot plate stirrer 480°C dan temperature ethanol 78°C dengan keadaan vacuum dan stabil.



8. Lalu dikeringkan endapan tersebut dan dihaluskan Sodium Alginatnya.

HYDROGEL ALGINAT

1. Menyiapkan aquades sebanyak 100 ml.
2. Mencampurkan aquades sebanyak 100 ml dengan powder sodium alginat sebanyak 7 gram, diaduk menggunakan hot plate magnetic stirrer selama 2 jam dengan temperatur 120°C dan kecepatan pengadukan sebesar 1000 rpm.

BIOKOMPOSIT HIDROGEL ALGINAT/PVA/BENTONIT

1. Menyiapkan hidrogel alginat sebanyak kurang lebih 100 ml.
2. Menyiapkan PVA (sesuai %wt yang dibutuhkan) dan dicampur dengan hidrogel alginat sebanyak 100 ml, lalu diaduk dengan magnetic stirrer selama 2 jam dengan temperatur 120°C dan kecepatan 1000 rpm.
3. Mencampurkan hidrogel alginat/PVA dengan powder bentonit (sesuai %wt yang dibutuhkan) lalu diaduk dengan magnetic stirrer selama 2 jam dengan temperatur 120°C dan kecepatan 1000 rpm.
4. Mengeringkan biokomposit hidrogel alginat/pva/bentonit pada temperatur ruang 27°C selama sehari.

PENDEKATAN SEBAGAI MATERIAL PERANCAH

1. Menyiapkan biokomposit hidrogel alginat/PVA/bentonit sebagai bioink untuk diinjeksikan.
2. Menggunakan metode pendekatan ekstrusion 3D Printed, yaitu menggunakan alat suntik One Med untuk menjadi *nozzle* penginjeksian *bioink* pada template yang disediakan.
3. Membentuk salah satu bentuk tulang rawan.



3.4 Pengujian

3.4.1 Pengujian Sifat Fisik

a) Analisis Struktur

Analisis struktur merupakan metode pengujian untuk melihat struktur yang terbentuk pada biokomposit hidrogel alginat/PVA/bentonit apakah terbentuk struktur kristalin atau semi kristalin atau amorfus. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji *X-Ray Diffraction Method* (XRD) di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS Surabaya. Adapun sampel yang digunakan berbentuk hidrogel dengan penembakan 2θ 5° - 80° . Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Angstrom. Ketika berkas sinar X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena berbeda fasa dan ada juga yang saling menguatkan karena fasa yang identik. Ukuran kristallinitas juga diprediksi dari hasil XRD. Berdasarkan metode Schreer, semakin kecil ukuran kristal, maka semakin lebar puncak difraksi yang dihasilkan.

b) Analisis Gugus Fungsi

Analisis gugus fungsi dilakukan untuk mengetahui ikatan yang ada pada masing-masing material dan saat menjadi komposit. Hasil yang didapat merupakan grafik dengan sumbu x panjang gelombang dan sumbu y % transmitansi. Melalui grafik tersebut dapat diketahui gugus fungsi suatu material dan berubah atau tidaknya gugus fungsi material setelah dikomposit. Pengujian dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS Surabaya menggunakan instrument Thermo Scientific Nicolet IS10 dengan panjang gelombang 400-



4000cm^{-1} . Prinsip dasar pengujian FTIR adalah interaksi energy dengan suatu materi. Saat spesimen uji ditembakkan dengan sinar inframerah, atom-atom dalam spesimen uji akan bergetar atau bervibrasi sebagai akibat energy yang berasal dari sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi electron. Besar energy vibrasi setiap komponen molekul berbeda-beda tergantung pada kekuatan ikatan yang terdapat pada molekul.

c) Analisis Degradasi Material

Untuk mengetahui laju peluruhan biokomposit hidrogel alginat/PVA/bentonit, maka dilakukan pengujian PBS *Solution*. Pengujian dilakukan secara in vitro dengan cara merendam spesimen dengan berat awal 5 gram dan pH 7.4 pada temperatur ruang 27°C . Kemudian sampel ditimbang massa sebelum perendaman dan 7, 14, 21, 35 hari setelah perendaman. Setelah 7, 14, 21, 35 hari perendaman, sampel diangkat dan disaring dari larutan dan ditimbang masa sesudah perendaman.

$$W = (m_a - m_b) / m_b \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana m_a adalah massa yang terukur setelah perendaman PBS dan m_b adalah massa sebelum perendaman. Pengujian degradasi ini dilakukan di Laboratorium Inovasi Material Departemen Teknik Material FTI ITS Surabaya.

d) Analisis Kekentalan (Viskositas)

Analisis kekentalan ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekentalan (viskositas cair) dari hidrogel alginat dan juga biokomposit hydrogel alginate/PVA/bentonit. Spesifikasi dari instrument ini adalah Kohler Instrument Company, Inc. Pengujian ini dilakukan di Laboraturium Energi LPPM ITS Surabaya. Temperatur yang digunakan yaitu bath 40°C dengan jenis pengujian *Kinematic Viscosity*. Spesifikasi sampel yaitu cair



sedikit kental, dengan jumlah 20-100 ml, dan data yang diperoleh nilai viskositas dengan satuan cSt dengan standart metode pengujian ASTM D 445-97.

e) Analisis Unsur (XRF)

Analisis unsur ini dilakukan untuk mengetahui unsur apa saja yang terdapat pada setiap *raw material*. Hasil yang didapat berupa persentase berat unsur dan oksida dari setiap *raw material*. Bahan yang digunakan berbentuk powder sebanyak kurang lebih 2 gram per sampelnya dengan temperatur kurang lebih 22-27°C dan tingkat kelembapan 49%-53%. Pengujian ini dilakukan di Laboraturium Energi LPPM ITS Surabaya.

3.4.2 Pengujian Morfologi

Untuk pengamatan morfologi dari permukaan sampel hydrogel alginate dan juga biokomposit hydrogel alginate/PVA/bentonit dilakukan pengamatan menggunakan *Scanning Electron Microscope* tipe FEI INSPECT S50 di Laboratorium Karakterisasi Material. Prinsip dasar SEM adalah memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan non-elastis. Dari pantulan non-elastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X. Sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered electron* (BSE). Pada SEM, gambar dibuat berdsarkan deteksi BSE yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel dipindai dengan elektron. Elektron-elektron yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap terang pada monitor CRT (*Cathode Ray Tube*).



3.5 Rancangan Penelitian

Sampel 1: Raw material Sodium Alginat komersil

Tabel 3.1 Komposisi Sample 1 Raw material Sodium Alginat komersil

No.	Sample	Sodium Alginat (%) wt	Bentonit (%) wt	PVA (%) wt
1.	<i>Base Sample 1A</i>	70	30	0
2.	<i>Base Sample 1B</i>	70	15	15
3.	<i>Base Sample 1C</i>	70	10	20
4.	<i>Base Sample 1D</i>	70	5	25
5.	<i>Base Sample 2A</i>	70	0	30
6.	<i>Base Sample 2B</i>	70	20	10
7.	<i>Base Sample 2C</i>	70	25	5



Sampel 2: Raw material Sodium Alginat Hasil Ekstraksi Jalur

Tabel 3.2 Komposisi Sample 2 Raw material Sodium Alginat Hasil Ekstraksi Jalur CaCl_2

No.	Sample	Sodium Alginat (%) wt	Bentonit (%) wt	PVA (%) wt
1.	<i>Base Sample 3A</i>	70	30	0
2.	<i>Base Sample 3B</i>	70	15	15
3.	<i>Base Sample 3C</i>	70	10	20
4.	<i>Base Sample 3D</i>	70	5	25
5.	<i>Base Sample 4A</i>	70	0	30
6.	<i>Base Sample 4B</i>	70	20	10
7.	<i>Base Sample 4C</i>	70	25	5

Tabel 3.3 Rancangan Pengujian Sample A, B, C, D

Sample	Pengujian				
	FTIR	XRD	SEM	SBF	VISKOSITAS
<i>Base Sample 1A</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 1B</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 1C</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 1D</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 2A</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 2B</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 2C</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 3A</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 3B</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 3C</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 3D</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 4A</i>	v	v	v	v	v
<i>Base Sample 4B</i>	v	v	v	v	v



<i>Base Sample 4C</i>	v	v	v	v	v
-----------------------	---	---	---	---	---

Tabel 3.4 Rancangan Pengujian Raw Material

Material	Pengujian
	XRF
Sodium alginat komersil	v
Sodium alginat ekstraksi jalur CaCl_2	v
Bentonit	v



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah hasil dan analisis serta pembahasan terhadap data yang didapatkan melalui serangkaian penelitian sebagaimana telah di paparkan pada bab sebelumnya.

4.1 Analisa Perbandingan Komposisi Sodium Alginat Komersil dengan Sodium Alginat Hasil Ekstraksi

Pengujian tahap awal yang dilakukan adalah pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF). Sampel yang diujikan berupa Sodium Alginat Komersil dan Sodium Alginat Ekstraksi jalur CaCl_2 . Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur pada setiap sampel yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan kandungan unsur pada Sodium Alginat Komersil dan Sodium Alginat Ekstraksi Sochlet jalur CaCl_2

Unsur	Kandungan (%)	
	Sodium Alginat Komersil	Sodium Alginat Ekstraksi Sochlet jalur CaCl_2
Na	$1,7 \pm 0,141$	$7,5 \pm 0,141$
P	$0,45 \pm 0$	$1,35 \pm 0,071$
Ca	$3,72 \pm 0,042$	$7,345 \pm 0,050$
Fe	$0,215 \pm 0,007$	$7,055 \pm 0,035$
Cu	$0,11 \pm 0,011$	$0,1 \pm 0$
Br	$23,5 \pm 0,711$	17 ± 0
Bi	$69,5 \pm 0,707$	-
Si	-	$49,5 \pm 2,121$

Hasil fluoroscopy X-ray menunjukkan unsur kimia yang terkandung dalam sodium alginat hasil ekstraksi jalur CaCl_2 dan sodium alginat komersil (Tabel 4.1). Unsur kimia yang terkandung dalam sampel sodium alginat hasil ekstraksi antara lain Na, P, Ca, Fe, Cu, Br, dan Si. Unsur yang terkandung sama dengan penelitian sebelumnya oleh Decky (2013) yang menyatakan hasil XRF



sodium alginate hasil ekstraksi dari *Sargassum sp.* adalah Na, Ca, Fe, dan Si. Dengan adanya penggabungan ion Na^+ dari Na_2CO_3 serta ion Ca^{2+} dari pemurnian CaCl_2 membuatnya kaya dengan ion Na^+ dan Ca^{2+} . Oleh karena itu, unsur kimia kuantitatif Ca dan Na yang dihasilkan oleh sodium alginat hasil ekstraksi tinggi. Jumlah kecil unsur Fe dalam sodium alginat hasil ekstraksi adalah pengotor yang cenderung terjadi pada instrumen XRF pada saat pengukuran (Emil, 2013). Dalam penelitian Decky (2013) disebutkan keberadaan Si, Cu, Br dalam sodium alginat hasil ekstraksi, masing-masing dikarenakan kontaminasi mineral yang berasal dari lingkungan laut yang terakumulasi saat pembentukan alga (asam M dan G). Tujuan dilakukannya proses pemurnian adalah untuk mereduksi jumlah kotoran, namun kotoran dalam alginat dianggap tidak menyebabkan reaksi negatif terhadap biokompatibilitas tubuh manusia. Selain itu, menurut Weiner (1999) mineral tulang diketahui mengandung hidroksiapatit dengan substitusi, seperti Ca, P, Na, K, Cl, Fe, F, dan lain-lain, yang berasal dari biomineralisasi pada manusia.

Jika dibandingkan dengan sodium alginat ekstraksi, unsur kimia yang terkandung dalam sampel sodium alginat komersil antara lain Na, P, Ca, Fe, Cu, Br, dan Bi. Hasil ini didukung oleh penelitian Emil (2013) yang menjelaskan bahwa unsur hasil XRF dari sodium alginat komersil antara lain Na, Ca, Fe, S dimana Na dan Ca merupakan unsur dominan dengan pengotor seperti Cu dan Fe dalam kandungan yang sangat kecil.

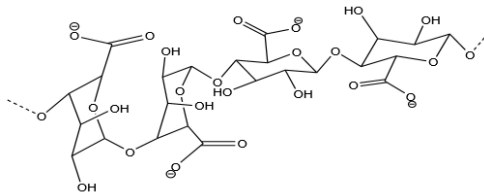
Kandungan Na dan Ca pada sodium alginat komersil lebih rendah dibandingkan dengan sodium alginat hasil ekstraksi. Hal ini nantinya akan berpengaruh terhadap kemampuan gelasi dari hidrogel alginat. Asam alginat tidak larut dalam air, hanya *swelling* (mengembang). Alginat yang mengandung kation Na^+ , Ca^{2+} , atau K^+ dapat larut dalam air panas maupun dingin dan membentuk larutan stabil (McHugh DJ, 1987). Sehingga, sodium alginat hasil

ekstraksi memiliki kelebihan atas sifat gelasinya dalam fabrikasi hidrogel alginat nantinya.

4.2 Pengaruh Penambahan Polyvinil Alkohol (PVA) dan Bentonit Terhadap Morfologi Komposit hidrogel

4.2.1 *Fourir Transform Infrared (FT-IR)*

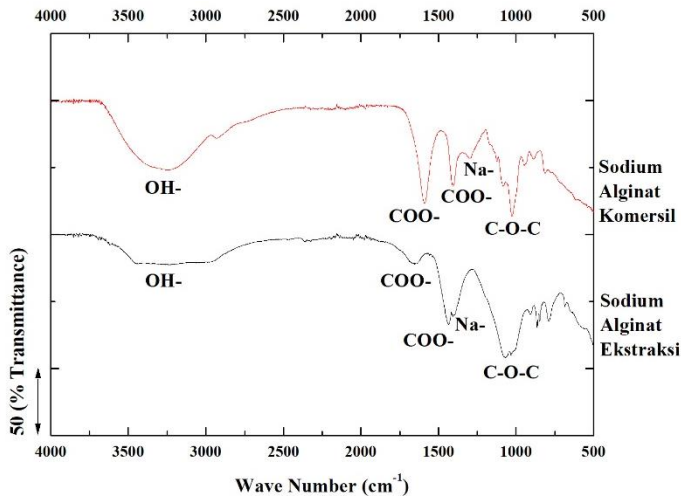
Seluruh sampel berupa sodium alginat ekstraksi, sodium alginat komersil, PVA, bentonit dan komposit hidrogel alginat/PVA/bentonit dengan variasi persen berat PVA dan bentonit diuji FTIR untuk mengetahui gugus fungsi atau ikatan yang terbentuk pada sampel.



Gambar 4.1 Struktur Sodium Alginat

Pada tingkat molekuler, alginat adalah kopolimer biner linier dari asam β -D-mannuronat (1-4) berikatan (M) dan α -L-guluronik monomer asam (G), yang merupakan struktur blok M- dan G- (Moe, 1995) dimana ditunjukkan pada gambar 4.1.

Perbandingan hasil FT-IR antara sodium alginat ekstraksi dengan sodium alginat komersil ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Perbandingan Hasil Pengujian FT-IR Sodium Alginat Hasil Ekstraksi Jalur Sochlet CaCl_2 dan Sodium Alginat Komersil.

Tabel 4.2 Perbandingan Gelombang Gugus Fungsi pada alginat komersil dan alginat hasil ekstraksi

Bilangan Gelombang (cm^{-1})		Interpretasi Gugus Fungsi	Rentang Bilangan Gelombang (cm^{-1}) (Sumber: William, 1980)
Ekstraksi	Komersil		
3446,91	3437,26	O-H Stretching	3200-3600
1665,4	1656,4	COO- asimetris	1550-1610
1620,16	1614,5	COO- simetris	
1435,15	1415	Na dalam isomer alginat	1300-1420
1068,54	1091,75	C-O-C	1070-1150

Pada gambar 4.2 spektra gugus fungsi alkohol O-H *stretch* pada sodium alginat ekstraksi muncul pada panjang gelombang $3446,91 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan sodium alginat komersil pada $3427,26$



cm^{-1} . Kedua nilai bilangan gelombang pada alginat tersebut berada pada rentang yang sama yaitu $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$. Begitu pula gugus karbonil (COO^-) berada pada rentang yang seharusnya yaitu $1550\text{--}1610\text{ cm}^{-1}$. Sodium alginat ekstraksi muncul pada bilangan gelombang $1665,4\text{ cm}^{-1}$ untuk (COO^-) asimetris dan $1620,16\text{ cm}^{-1}$ untuk (COO^-) simetris sedangkan sodium alginat komersil muncul pada bilangan gelombang $1656,4\text{ cm}^{-1}$ untuk (COO^-) asimetris dan $1614,5\text{ cm}^{-1}$ untuk (COO^-) simetris. Selanjutnya gugus C-O-C muncul peak pada bilangan gelombang $1068,54\text{ cm}^{-1}$ untuk sodium alginat ekstraksi dan $1091,75\text{ cm}^{-1}$ untuk sodium alginat komersil. Untuk gugus Na dalam isomer alginat pada bilangan $1435,15\text{ cm}^{-1}$ untuk sodium alginat ekstraksi dan 1415 cm^{-1} untuk sodium alginat komersil.

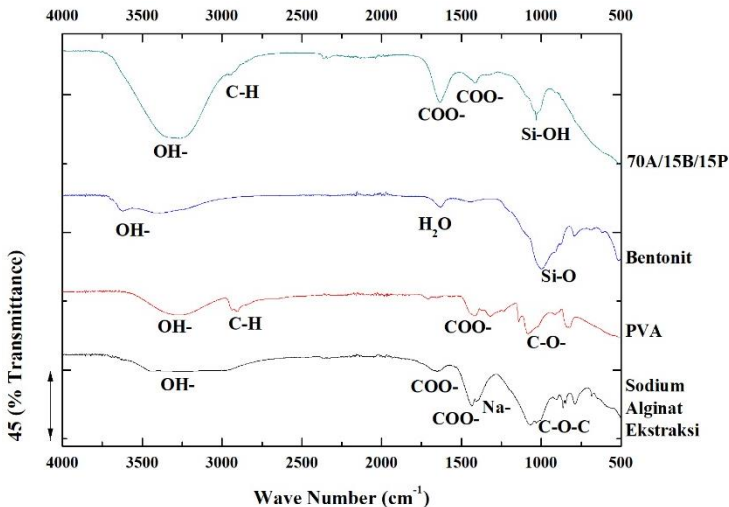
Pada penelitian sebelumnya oleh Decky (2013) dan Murobbiyatul (2016) menyatakan bahwa spektrum FT-IR sodium alginat ekstraksi maupun komersil memiliki gugus fungsi yang khas antara lain gugus karboksil (COO^-), gugus hidroksil (O-H), dan Na dalam isomer alginat. Hampir semua senyawa organik mengandung ikatan C-H. Absorbansi ini memiliki daerah absorbansi sinar inframerah pada panjang gelombang sekitar $2850\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$. Pada gambar 4.2 gugus ini terlihat di sekitar bilangan gelombang 2900 cm^{-1} (Decky, 2013).

Gugus alkohol (-OH stretch) pada alginat berasal dari kelembaban alginat saat H_2O teradsorpsi. Pada proses ekstraksi alginat, mekanisme penambahan Na_2CO_3 akan mengubah gugus fungsi asam karboksilat (-COOH) ke dalam bentuk garamnya, dikarenakan ikatan yang lemah antara H^+ dan COO^- menyebabkan ion Na^+ membentuk COO-Na (garamnya). Hal ini menyebabkan asam alginat akan berubah menjadi natrium alginat atau yang sering disebut sodium alginat (Husni, 2012 dan Decky, 2013).

Berdasarkan tabel 4.2 perbandingan antara bilangan gelombang yang muncul pada sodium alginat ekstraksi dan komersil, terlihat bahwa kedua senyawa ini memiliki peak yang sama. Selanjutnya menurut Decky (2013) disebutkan bahwa hasil FT-IR dari sodium alginat ekstraksi (*Sargassum sp.*) dan sodium



alginat komersil yang sebelumnya telah diuji menunjukkan hasil seperti pada bab sebelumnya yaitu pada gambar 2.17, dimana hasil FT-IR sama dengan hasil FT-IR penelitian ini. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sodium alginat hasil ekstraksi telah memenuhi standar sodium alginat komersil.



Gambar 4.3 Perbandingan Hasil FTIR Sodium Alginat Ekstraksi, PVA, Bentonit, Komposit hidrogel 70A/15B/15P.

Hasil spektra FT-IR PVA pada gambar 4.3 terdiri dari panjang gelombang $3258,14 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan gugus alkohol (O-H) *stretch* dengan ikatan hidrogen $\nu = 3200\text{-}3570 \text{ cm}^{-1}$ (Mansur, 2004). Adanya serapan pada panjang gelombang $2932,95 \text{ cm}^{-1}$ dan $2905,08 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus alkil (C-H) *stretch*. Gugus karbonil (COO-) terbaca pada panjang gelombang $1517,55 \text{ cm}^{-1}$. Kemudian pada panjang gelombang $1232,72 \text{ cm}^{-1}$ dan $1141,28 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus (C-O-). Ikatan ini telah digunakan sebagai penilaian struktur PVA karena ini adalah polimer sintesis semikristalin yang mampu membentuk beberapa domain tergantung parameter proses (Mansur, 2004). Sedangkan



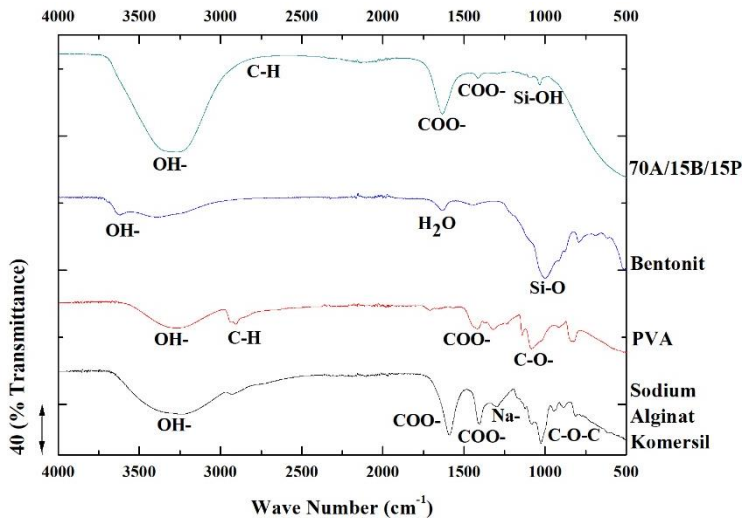
untuk peak $826,14\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan gugus alkena, aromatic (C=H). Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Elizabeth (2005) mengenai sintesis dan karakterisasi hydrogel PVA untuk adsorpsi protein yang memiliki ikatan khas berupa OH-, C-H, COO-, C-O. Begitu pula pada setiap gugus fungsi yang terbaca pada PVA juga memiliki gugus fungsi yang berada di rentang bilangan gelombang seharusnya (William, 1980).

Gambar 4.3 juga menjelaskan hasil FT-IR bentonit dengan panjang gelombang $1000,29\text{ cm}^{-1}$ terkait dengan ikatan Si-O. Ikatan ini berada sesuai dengan rentang Si-O yang dijelaskan William (1980) pada rentang bilangan gelombang 1068 cm^{-1} . Pada panjang gelombang $1629,29\text{ cm}^{-1}$ terdapat serapan yang berhubungan dengan molekul H_2O . Peregangan kelompok OH ditunjukkan pada posisi $3391,6\text{ cm}^{-1}$ (-OH) dan $3619,95\text{ cm}^{-1}$ (Al-Al-OH) dimana vibrasi ulur dari O-H yang terletak pada lapis oktahedral yang terikat pada Al (Emas, 2017). Hasil FT-IR bentonit ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Frederico (2010) mengenai karakterisasi bentonit secara insitu. Frederico menjelaskan bentonit mempunyai ciri khas serapan gelombang yaitu ikatan Al-Al-OH pada panjang gelombang 3621 cm^{-1} , ikatan Si-O $1030-1114\text{ cm}^{-1}$, dan molekul H_2O 1645 cm^{-1} . Setiap material bentonit memiliki ikatan lemah seperti Si-O-Al dan Si-O (*low frequency*) yang ditunjukkan pada panjang gelombang berturut-turut 628 cm^{-1} dan $466-522\text{ cm}^{-1}$ (Farmer, 1974).

Komposit hidrogel alginat ekstraksi/PVA/bentonit dengan variasi persen berat 70% alginat ekstraksi/15% PVA/ 15% bentonit terlihat mempunyai pola spektra serupa pada gambar 4.3. Pada komposit ini teridentifikasi serapan gelombang yang menandakan adanya alginat ekstraksi, PVA dan bentonit. Hasil FT-IR komposit terbaca peak alkohol (-OH) *stretch* mengalami peningkatan intensitas pada panjang gelombang $3260,95\text{ cm}^{-1}$ dikarenakan ikatan hidrogen menjadi lebih kuat akibat (-OH) ketiga material penyusun (Elizabeth, 2005). Munculnya peak alkil (C-H) *stretch* pada panjang gelombang $2905,08\text{ cm}^{-1}$ menandakan adanya reaksi PVA pada komposit ini. Gugus karbonil (COO-) asimetris



mengalami peningkatan intensitas pada panjang gelombang $1632,14\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya reaksi sodium alginat ekstraksi dengan PVA, tetapi karbonil (COO^-) simetris mengalami penurunan intensitas pada panjang gelombang $1414,31\text{ cm}^{-1}$ dikarenakan adanya reaksi Na^- dari sodium alginat ekstraksi menjadi $\text{COO}^- \text{Na}^+$ yang mengindikasikan adanya sedikit perubahan pada struktur ikatannya. Kehadiran bentonit pada komposit ini ditunjukkan dengan adanya ikatan Si-OH pada panjang gelombang $1032,84\text{ cm}^{-1}$ yang telah bereaksi dengan PVA melalui ikatan hidrogen. Hasil ini didukung oleh penelitian Elizabeth (2005) bahwa akibat penambahan Silane Hydrolysis menjadi PVA/TEOS hybrid, terdapat peak Si-OH yang muncul pada $950\text{-}1035\text{ cm}^{-1}$ serta Si-O pada 1080 cm^{-1} . Pada frekuensi $3000\text{-}3650\text{ cm}^{-1}$, menunjukkan hubungan dengan grup alkohol ($-\text{OH}$) *stretch*. Ikatan hidrogen mempunyai peran penting dalam pengaturan tingkat kristalinitas PVA, oleh karena itu Si-OH dan Si-O telah memodifikasi struktur semikristal PVA pada hasil penelitian Elizabeth.

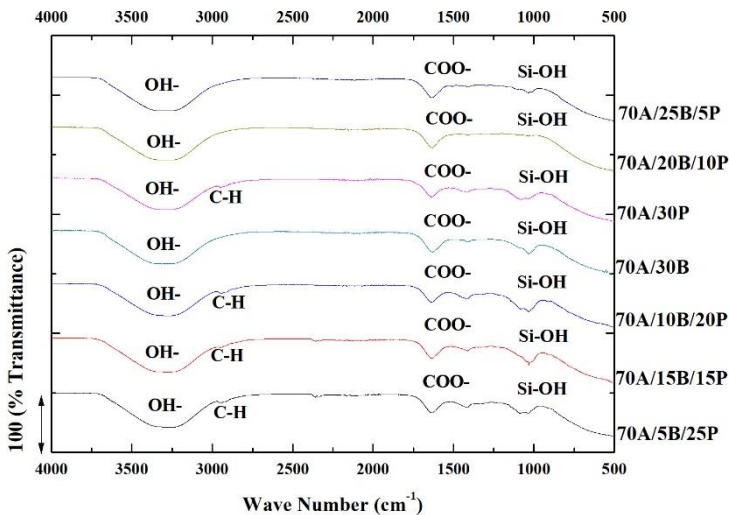


Gambar 4.4 Perbandingan Hasil FTIR Sodium Alginate Komersil, PVA, Bentonit, Komposit hidrogel 70A/15B/15P.

Hasil uji FT-IR untuk komposit hidrogel alginat komersil/PVA/bentonit ditunjukkan pada gambar 4.4 dengan variasi berat 70% alginat komersil, 15% PVA, 15% bentonit. Dari gambar 4.4 terlihat perbandingan hasil FT-IR untuk ke 3 material penyusun dengan hasil kompositnya. Untuk komposit, gugus alkohol (OH-) *stretch* mengalami peningkatan intensitas pada panjang gelombang $3269,33 \text{ cm}^{-1}$ dikarenakan ikatan hidrogen yang telah dibahas sebelumnya pada komposit alginat ekstraksi. Hal ini menandakan adanya reaksi antara ketiga material tersebut sehingga terjadi perubahan struktur ikatannya. Pada panjang gelombang $2753,88 \text{ cm}^{-1}$ terbaca gugus alkil (C-H) *stretch* yang menandakan keberadaan PVA pada komposit ini. Gugus karbonil (COO-) terdeteksi pada panjang gelombang $1635,18 \text{ cm}^{-1}$ untuk (COO-) asimetris mengalami sedikit peningkatan intensitas dibandingkan dengan gugus karbonil sodium alginat komersil. Hal ini menandakan adanya reaksi antara sodium alginat komersil dan



PVA pada gugus karbonil. Sedangkan $1412,98 \text{ cm}^{-1}$ untuk $(\text{COO}-)$ simetris mengalami penurunan intensitas yang tajam dikarenakan unsur Na pada sodium alginat komersil sedikit sehingga reaksi Na -menjadi $\text{COO}-\text{Na}$ sedikit sekali terjadi perubahan struktur ikatannya. Kehadiran bentonit pada komposit ini ditunjukkan dengan adanya ikatan $\text{Si}-\text{OH}$ pada panjang gelombang $1033,05 \text{ cm}^{-1}$ yang telah bereaksi dengan PVA melalui ikatan hidrogen. Hasil ini didukung oleh penelitian Elizabeth (2005) yang telah dijelaskan sebelumnya pada komposit alginat ekstraksi.



Gambar 4.5 Grafik FT-IR Pengaruh Penambahan PVA dan Bentonit terhadap Komposit hidrogel Alginat Ekstraksi

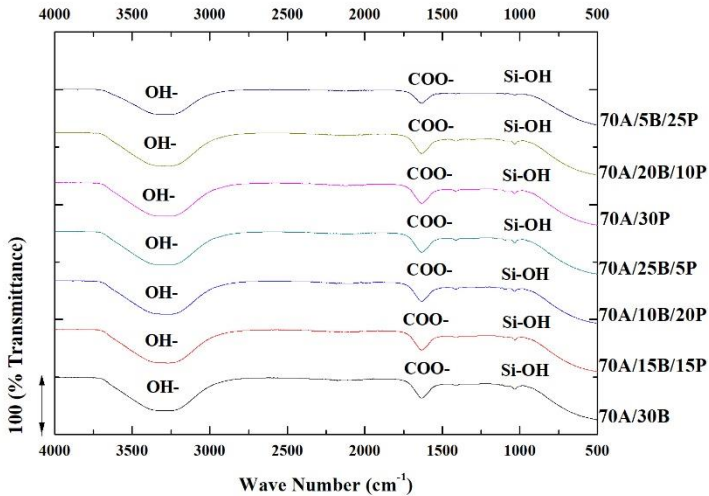
Gambar 4.5 merupakan spektrum FT-IR komposit hidrogel alginat ekstraksi/PVA/bentonit dengan variasi konsentrasi PVA dan bentonit sebanyak 7 sampel. Pada rentang bilangan gelombang $3260,95 \text{ cm}^{-1}$ sampai $3285,57 \text{ cm}^{-1}$ terdapat puncak pada setiap sampel yang menunjukkan ikatan terserap berupa ikatan hidroksil $(-\text{OH})$ dari ketiga penyusunnya.



Munculnya peak alkil (C-H) *stretch* yang tajam hanya pada 4 sampel yang memiliki kandungan PVA tertinggi yaitu 70A/30P, 70A/5B/25P, 70A/10B/20P, dan 70A/15B/15P. Gugus C-H ini terletak pada panjang gelombang $2948,01\text{ cm}^{-1}$; $2948,81\text{ cm}^{-1}$; $2945,27\text{ cm}^{-1}$; $2939,31\text{ cm}^{-1}$. Hal ini mengindikasikan semakin banyak konsentrasi berat PVA maka akan terbentuk ikatan C-H yang masih berstruktur kristalin (Kannan, 2017) ditambah dengan alginat ekstraksi merupakan senyawa organik yang banyak mengandung gugus fungsional C-H (Decky, 2012). Sebaliknya, saat kandungan berat PVA 5% terlihat rendah peak ikatan C-H yang mana struktur kristalnya telah tereduksi (Kannan, 2017).

Untuk ikatan karbonil (COO-) dinyatakan dengan adanya serapan energi pada rentang puncak $1632,14\text{ cm}^{-1}$ sampai $1636,82\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya reaksi sodium alginat ekstraksi dengan PVA. Intensitas yang kecil terdapat pada gugus (COO-) simetris komposit alginat ekstraksi 70A/25B/5P dan 70A/20B/10P.

Sedangkan untuk ikatan Si-OH pada rentang gelombang $1032,31\text{ cm}^{-1}$ sampai $1033,66\text{ cm}^{-1}$. Untuk penyerapan ikatan Si-OH ini mengalami sedikit pergeseran bilangan gelombang yang menunjukkan bahwa Si-OH telah bereaksi dalam hydrogel serta perenggangan bilangan gelombang yang menunjukkan intensitas kandungan bentonit tersebut. Intensitas meningkat pada 4 sampel yang memiliki kandungan bentonit tertinggi yaitu 70A/30B, 70A/25B/5P, 70A/15B/15P, dan 70A/10B/20P dimana perbedaannya tidak signifikan.



Gambar 4.6 Grafik FT-IR Pengaruh Penambahan PVA dan Bentonit terhadap Komposit hidrogel Alginat Komersil

Gambar 4.6 merupakan spektrum FT-IR komposit hidrogel alginat komersil/PVA/bentonit dengan variasi konsentrasi PVA dan bentonit sebanyak 7 sampel. Pada rentang bilangan gelombang $3269,33 \text{ cm}^{-1}$ sampai $3280,98 \text{ cm}^{-1}$ terdapat puncak pada setiap sampel yang menunjukkan ikatan terserap berupa ikatan alkohol (-OH) *stretch* dari ketiga penyusunnya seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

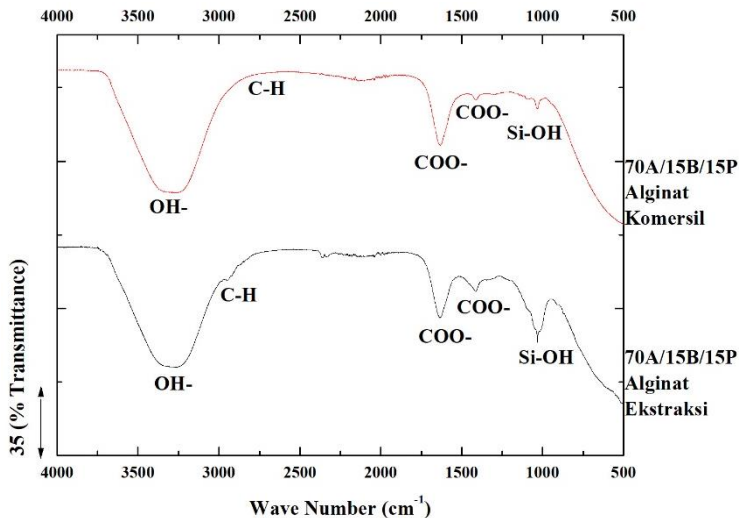
Ikatan C-H tidak tampak lagi seperti komposit alginat ekstraksi dikarenakan PVA kristalin telah tereduksi strukturnya seiring melemahnya ikatan C-H (Kannan, 2017).

Untuk ikatan karbonil (COO-) dinyatakan dengan adanya serapan energi pada rentang puncak $1631,40 \text{ cm}^{-1}$ sampai $1635,71 \text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya reaksi sodium alginat komersil dengan PVA. Intensitas yang kecil terdapat pada gugus (COO-) simetris komposit alginat komersil 70A/25B/5P dan 70A/5B/25P.

Sedangkan bentonit ditunjukkan pada bilangan gelombang 1068 cm^{-1} (William, 1980), pada gambar 4.6 keberadaan bentonit



ditunjukkan pada rentang bilangan gelombang $1033,05\text{ cm}^{-1}$ sampai $1033,96\text{ cm}^{-1}$ yaitu ikatan Si-OH. Untuk penyerapan ikatan Si-OH pada hasil uji FT-IR komposit ini mengalami sedikit pergeseran bilangan gelombang yang menunjukkan bahwa Si-OH telah berikatan dengan senyawa lain dalam hidrogel.



Gambar 4.7 Perbandingan Hasil FT-IR Komposit hidrogel 70A/15B/15P Alginat Ekstraksi dengan Komposit hidrogel 70A/15B/15P Alginat Komersil

Setelah membahas hasil FT-IR komposit dengan masing-masing penyusunnya serta setiap komposisinya, selanjutnya komposit dari alginat ekstraksi dan alginat komersil dibandingkan seperti pada gambar 4.8. Komposit yang dibandingkan yaitu komposisi 70A/15B/15P. Untuk gugus fungsi tidak ada yang berbeda dari kedua komposit ini namun terdapat beberapa perbedaan mengenai intensitasnya. Menurut Kannan (2017) perubahan intensitas dan pergeseran daerah resapan spektra IR pada komposit mengindikasikan adanya reaksi atau kehadiran dari setiap penyusunnya.



Pada komposit alginat ekstraksi, munculnya peak gugus alkil (C-H) *stretch* yang lebih tajam pada panjang gelombang $2939,31\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya peningkatan intensitas bila dibandingkan dengan komposit alginat komersil. Hal ini dikarenakan alginat ekstraksi merupakan senyawa organik yang banyak mengandung gugus fungsional C-H (Decky, 2012) dan bereaksi dengan PVA. Penelitian Kannan (2017) menyebutkan hasil komposit sodium alginat/PVA sebelum dicampur dengan AgNPs, terdapat ikatan C-H dan C-O yang lemah pada gelombang 2912 cm^{-1} dan 1137 cm^{-1} yang mengindikasikan tereduksinya struktur kristal pada PVA.

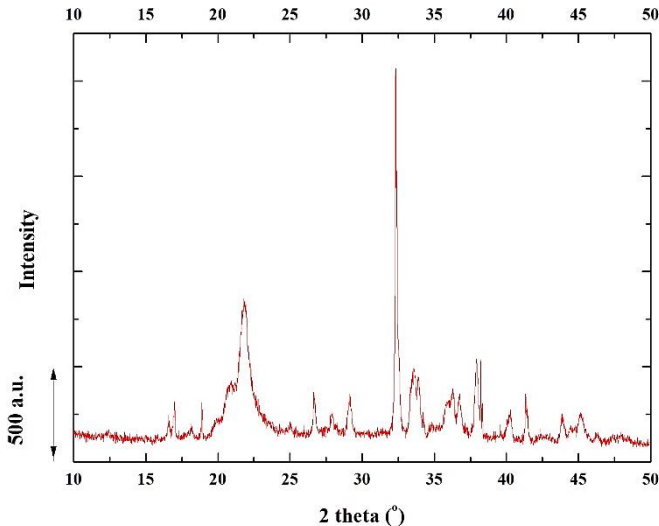
Gugus karbonil simetris (COO-) didapati memiliki intensitas yang berbeda dengan serapan gelombang $1414,31\text{ cm}^{-1}$ untuk komposit alginat ekstraksi dan $1412,98\text{ cm}^{-1}$ untuk komposit alginat komersil. Hasil XRF pada tabel 4.1 menjelaskan bahwa kandungan Na pada sodium alginat ekstraksi lebih besar dari pada sodium alginat komersil. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa Na- akan bereaksi dengan COO- simetris menjadi COO-Na (Husni, 2012 dan Decky, 2013) sehingga jelas bila serapan gelombang untuk komposit alginat ekstraksi memiliki intensitas yang lebih besar.

Begitu juga dengan gugus Si-OH pada komposit alginat ekstraksi memiliki intensitas yang lebih besar pada serapan gelombang $1032,84\text{ cm}^{-1}$ dibandingkan dengan komposit alginat komersil $1033,05\text{ cm}^{-1}$. Kandungan Si hanya dimiliki oleh sodium alginat ekstraksi sehingga saat terjadi reaksi dengan bentonit maka serapan gelombang ikatan Si-OH akan mengalami penambahan intensitas.

Dengan demikian komposit hidrogel alginat ekstraksi dan alginat komersil tersebut positif menunjuk kepada struktur kimia alginat, PVA, dan bentonit. Hasil ini mengindikasikan bahwa sintesis komposit alginat ekstraksi/PVA/bentonit melalui metode hidrogel berhasil dilakukan.

4.2.2 *X-Ray Diffraction (XRD)*

Pada penelitian ini pengujian XRD dilakukan untuk melihat struktur yang terbentuk pada material penyusun dan hasil komposit.



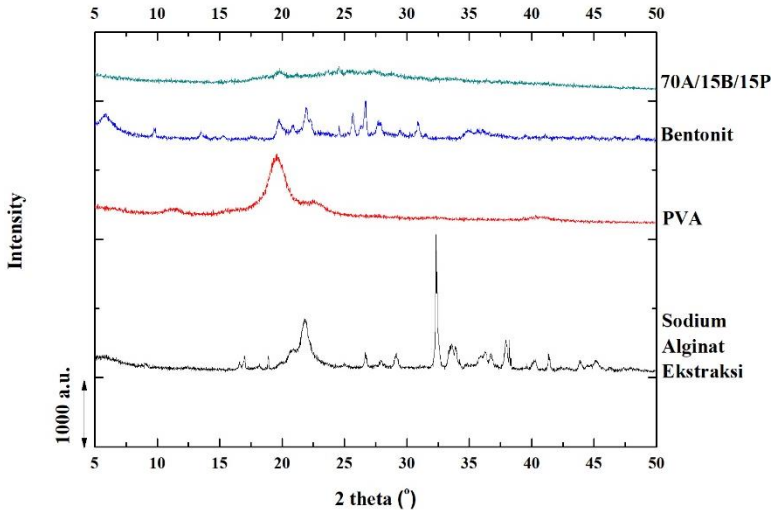
Gambar 4.8 Difraktogram XRD dari
Sampel Sodium Alginat Ekstraksi

Pola XRD sodium alginat ekstraksi ditunjukkan pada gambar 4.8. Dapat dilihat bahwa sodium alginat ekstraksi memiliki struktur semi kristalin dengan puncak $2\theta = 19,9^\circ; 21,9^\circ; 26,7^\circ; 29,1^\circ; 32,4^\circ; 33,8^\circ; 38,3^\circ$. Dalam penelitian Julia (2014) juga ditemukan bahwa difraktogram XRD pada alginat mempunyai puncak kristalinitas pada $2\theta = 18,7^\circ; 22,2^\circ; 29,2^\circ; 32,5^\circ; 37,1^\circ$, dimana peak ini terdapat pada sodium alginat hasil ekstraksi, yang ditunjukkan pada bab sebelumnya yaitu pada gambar 2.18. Indeks kristalinitas dari sodium alginat ekstraksi 35,67 %.

Pada gambar 4.10 sodium alginat komersil menunjukkan adanya 2 puncak difraksi yang menandakan sifat semi kristalin



dengan indeks kristalinitas yang kecil (Kannan, 2017), dimana puncak terletak pada $2\theta = 13,2^\circ$; $21,9^\circ$. Indeks kristalinitas dari sampel sodium alginat komersil adalah 30,92 %.



Gambar 4.9 Perbandingan Grafik XRD dari Sodium Alginat Ekstraksi, PVA, Bentonit dan Komposit hidrogel 70A/15B/15P Alginat Ekstraksi

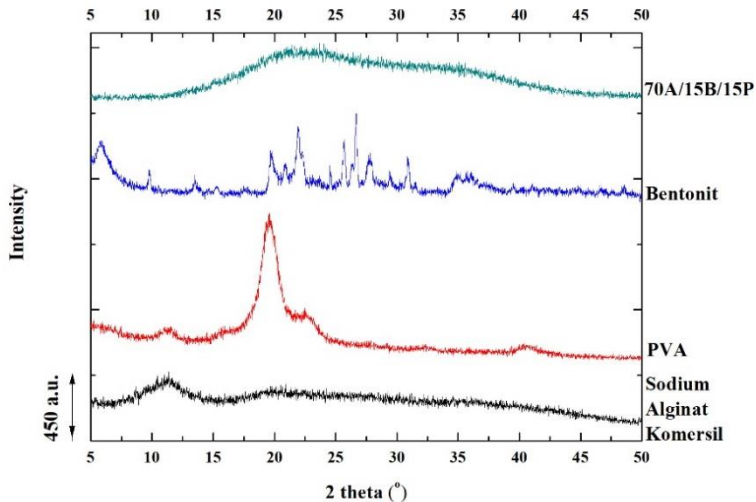
Gambar 4.9 menunjukkan pola XRD dari material penyusun dan hasil kompositnya. Untuk PVA memiliki struktur semi kristalin yang ditunjukkan pada puncak $2\theta = 15,6^\circ$; $19,3^\circ$; $19,7^\circ$; $22,6^\circ$; $40,5^\circ$. Menurut Kannan (2017) struktur semi kristalin PVA dikaitkan dengan fase kristal dari polimer yang dibentuk oleh ikatan hidrogen tinggi antara kelompok hidroksil. Indeks kristalinitas dari PVA adalah 40,99 %.

Bentonit memiliki struktur semi kristalin dengan $2\theta = 7,1^\circ$; $8,8^\circ$; $13,5^\circ$; $20,8^\circ$; $22,1^\circ$; $22,3^\circ$; $25,6^\circ$; $26,7^\circ$; $27,7^\circ$; $30,9^\circ$. Hasil ini sesuai dengan pola montmorillonite JCPDS card No. 13-0135. Pola difraksi bentonit memiliki 10 refleksi utama, dan refleksi 001 pertama untuk bentonit sederhana diamati pada (001) d-value =



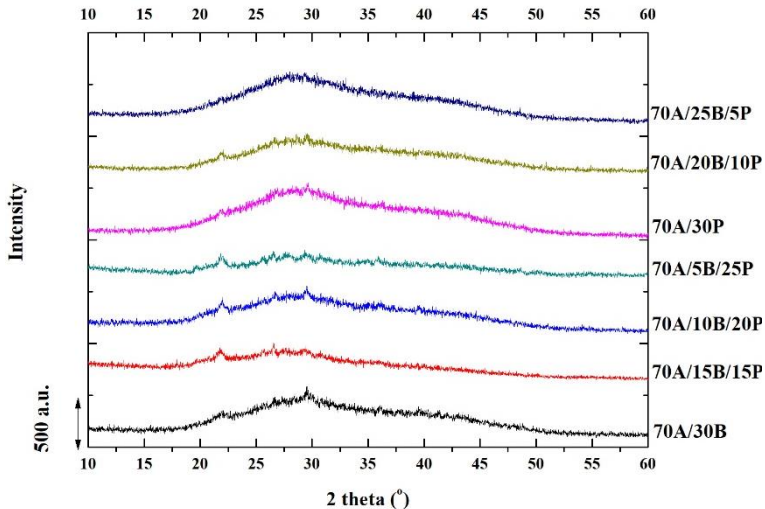
9,8, $2\theta = 9.00^\circ$, dan pantulan lainnya pada $d\text{-value} = 4,4499$, $2\theta = 19,94^\circ$, $d\text{-value} = 3,1890$, $2\theta = 27,96^\circ$, $d\text{-value} = 2,9970$, $2\theta = 29,79^\circ$, $d\text{-value} = 2,5549$, $2\theta = 35,10^\circ$ dan $d\text{-value} = 1,4952$, $2\theta = 62,02^\circ$, yang mengarakterisasi sampel terutama sebagai montmorillonite (Brindley dan Brown, 1980). Selain itu, ada refleksi yang terkait dengan kuarsa ($d\text{-value} = 4.2557$, $2\theta = 20.86^\circ$, $d\text{-value} = 3.3196$, $2\theta = 26.75^\circ$ dan $d\text{-value} = 1.9890$, $2\theta = 45.60^\circ$) (Liu, 2011). Bentonit juga terdiri dari kristobalit ($d\text{-value} = 2.800$, $2\theta = 31.94^\circ$) sebagai komponennya (Farmer, 1974 dan Salem, 2015). Indeks kristalinitas dari bentonit adalah 69,90 %.

Pada hasil XRD komposit hidrogel 70A/15B/15P alginat ekstraksi puncak $2\theta = 21.8^\circ$; 26.5° ; 29.4° ; 30.8° ; 36.1° . Penggabungan struktur dari ketiga penyusunnya diidentifikasi pada puncak difraksi $2\theta = 21.8^\circ$ dan 26.5° yang memiliki struktur semi kristalin dengan indeks kristalinitas sebesar 43,06%. Pada penelitian sebelumnya (Nasim, 2017) menjelaskan puncak difraksi komposit alginat/PVA yang bersifat amorf terletak pada $2\theta = 20.6^\circ$.



Gambar 4.10 Perbandingan Grafik XRD dari Sodium Alginate Ekstraksi, PVA, Bentonit dan Komposit hidrogel 70A/15B/15P Alginat Komersil

Pada gambar 4.10, hasil XRD komposit hidrogel 70A/15B/15P alginat komersil puncak $2\theta = 22.2^\circ$; 30.8° . Penggabungan struktur dari ketiga penyusunnya diidentifikasi pada puncak difraksi $2\theta = 22.2^\circ$ yang memiliki struktur semi kristalin dengan indeks kristalinitas sebesar 46,33%. Pada penelitian sebelumnya (Nasim, 2017) menjelaskan puncak difraksi komposit alginat/PVA yang bersifat amorf terletak pada $2\theta = 20.6^\circ$.



Gambar 4.11 Difraktogram XRD Pengaruh Penambahan PVA dan Bentonit terhadap Komposit hidrogel Alginat Ekstraksi

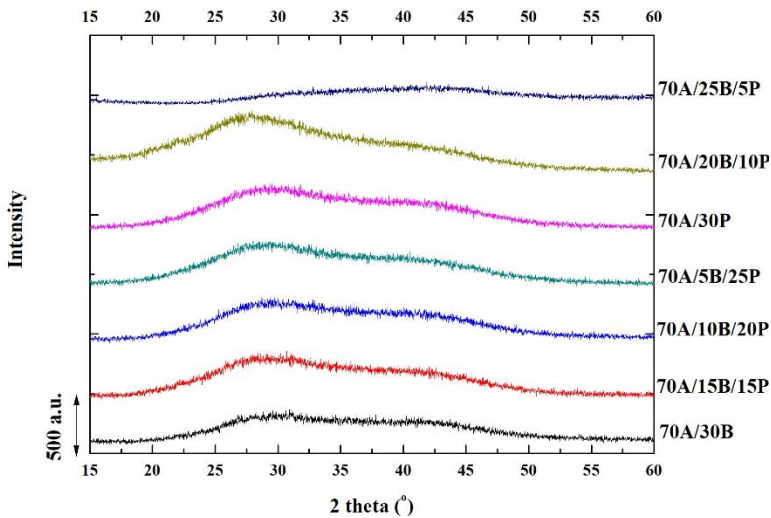
Gambar 4.11 menunjukkan pola difraktogram XRD pada 7 sampel komposit alginat ekstraksi/PVA/bentonit dengan variasi konsentrasi PVA dan bentonit. Dapat dilihat bahwa komposit hidrogel ini memiliki rata-rata puncak $2\theta = 22,5^{\circ}$ - 30° . Dengan melihat puncak difraksi yang hanya 2-3 buah, maka struktur dari masing-masing komposit tidak berbeda strukturnya yaitu semi kristalin yang cenderung amorf dengan perbedaan tingkat kristalinitas yang dijelaskan pada tabel 4.3. Indeks kristalinitas paling rendah didapati pada komposisi 70A/5B/25P dimana memiliki perbandingan 1:2 atas %kristal : %amorf sehingga mengindikasikan hampir berstruktur amorf secara keseluruhan.

Tabel 4.3 Indeks kristalinitas pada Sampel
Komposit hidrogel Alginat Ekstraksi

Komposisi	% Kristalin	% Amorfus
70A/30B	40,74	59,26



70A/15B/15P	43,06	56,94
70A/10B/20P	43,60	56,32
70A/5B/25P	33,84	66,16
70A/30P	39,26	60,74
70A/20B/25P	44,34	55,66
70A/25B/5P	43,91	56,09



Gambar 4.12 Difraktogram XRD Pengaruh Penambahan PVA dan Bentonit terhadap Komposit hidrogel Alginat Komersil

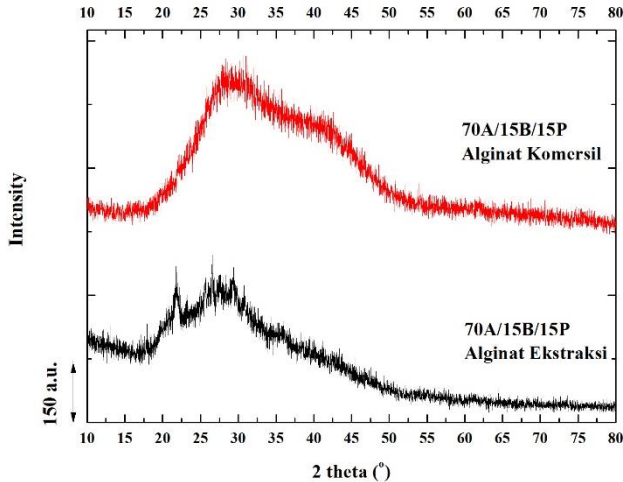
Pada gambar 4.12 menunjukkan pola difraktogram XRD pada 7 sampel komposit alginat komersil/PVA/bentonit dengan variasi konsentrasi PVA dan bentonit. Dapat dilihat bahwa komposit hidrogel ini memiliki rata-rata puncak $2\theta = 25^{\circ}$ - 30° . Dengan melihat adanya beberapa puncak difraksi, maka struktur dari masing-masing komposit tidak jauh berbeda strukturnya yaitu semi kristalin yang cenderung amorf dengan perbedaan tingkat kristalinitas yang dapat dilihat pada tabel 4.4. Tingkat kristalinitas ini dipengaruhi oleh adanya bentonit dan PVA. Namun terhalangnya dengan sifat amorf dari sodium alginat komersil yang kuat maka



sifat kristalinitinya termodifikasi menjadi amorf, seperti halnya dengan teori Cheung (2000). Terdapat perbedaan hasil pada komposisi 70A/25B/5P 25P dimana memiliki perbandingan 1 : 2,2 atas %kristal : %amorf sehingga mengindikasikan hampir berstruktur amorf secara keseluruhan.. Dimana sifat semikristalin yang cenderung amorf dari alginat komersil yang kuat ditambah dengan sedikitnya konsentrasi berat PVA yang merujuk pada sifat semi kristalin dengan indeks kristal yang kecil, maka sifat semi kristalin bentonit akan kalah dan menjadi struktur amorf secara keseluruhan.

Tabel 4.4 Indeks kristalinitas pada Sampel
Komposit hidrogel Alginat Komersil

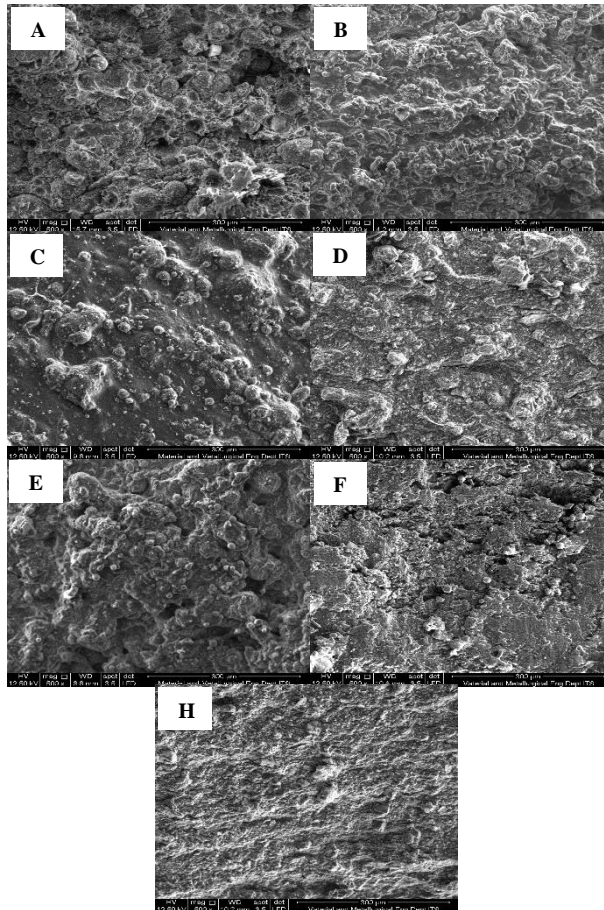
Komposisi	% Amorfus	% Kristalin
70A/30B	54,06	45,94
70A/15B/15P	53,67	46,33
70A/10B/20P	55,97	44,03
70A/5B/25P	53,69	46,31
70A/30P	53,39	46,61
70A/20B/25P	51,44	48,56
70A/25B/5P	70,84	29,52



Gambar 4.13 Perbandingan Grafik XRD dari Komposit hidrogel 70A/15B/15P Alginat Ekstraksi dan dari Komposit hidrogel 70A/15B/15P Alginat Komersil

Gambar 4.13 merupakan perbandingan hasil XRD komposit hidrogel 70A/15B/15P alginat ekstraksi dengan alginat komersil. Terlihat perbedaan posisi $2\theta = 22.1^\circ$ dan 27.5° pada komposit alginat ekstraksi, dengan $2\theta = 30.8^\circ$ untuk komposit alginat komersil. Kedua pola difraksi memiliki indeks kristalinitas masing-masing 43,06% dan 46,33%. Indeks kristalinitas komposit hidrogel 70A/15B/15P alginat ekstraksi lebih rendah daripada komposit hidrogel 70A/15B/15P alginat komersil.

4.2.3 *Scanning Electron Microscope (SEM)*



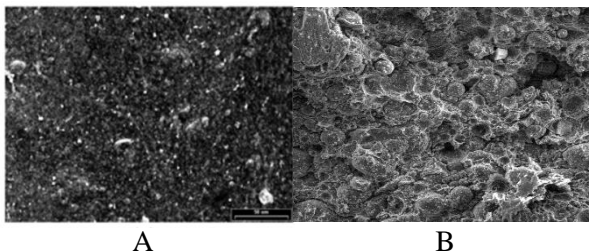
Gambar 4.14 Hasil SEM perbesaran 500x. Sampel Komposit hidrogel Alginat Ekstraksi/PVA/Bentonit A). 70A/30B; B). 70A/15B/15P; C). 70A/10B/20P; D). 70A/5B/25P; E). 70A/30P; F). 70A/20B/10P; G). 70A/25B/5P.



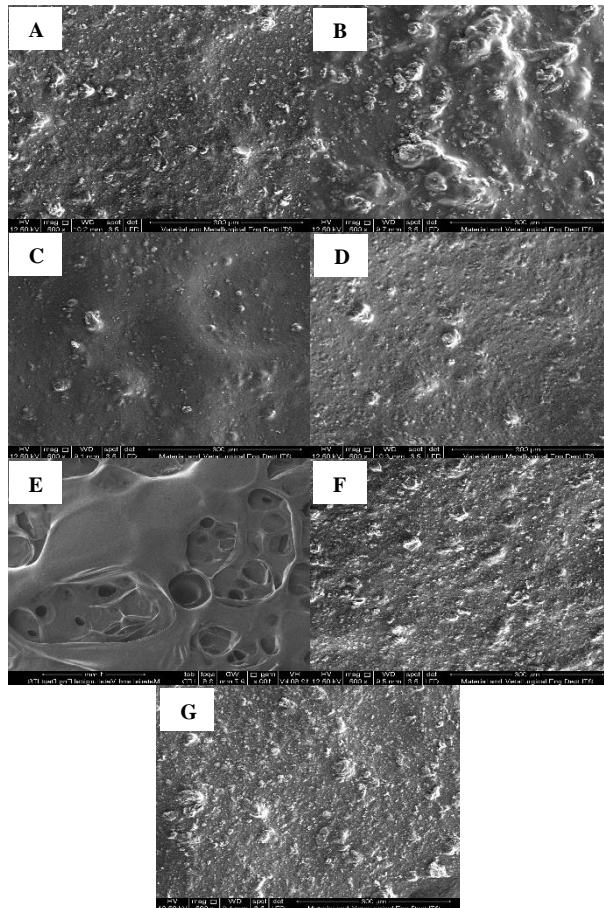
Gambar 4.14 menunjukkan hasil SEM perbesaran 500x pada sampel komposit hidrogel alginat ekstraksi/PVA/bentonit. Gambar 4.14 dan 4.16 diambil dengan posisi *cross-sectional* hidrogel untuk melihat distribusi bentonit dan PVA di hidrogel serta morfologi komposit tersebut. Karena PVA adalah polimer yang mudah larut dalam air (Peppas, 2000) sedangkan alginat dan bentonit adalah polimer hidrofilik dan *swelling* di air (Seung Taek-Oh, 2008), maka ketiganya dapat tercampur seperti terlihat pada gambar 4.14 dan 4.16.

Hasil SEM komposit hidrogel alginat ekstraksi menunjukkan adanya tingkat kekasaran yang berbeda dan tidak adanya porositas. Terlihat ketujuh sampel memiliki kekasaran yang hampir sama. Pada penelitian yang dilakukan Seung Taek-Oh (2008) disebutkan dengan adanya penambahan bentonit, tingkat kekasaran dari hidrogel alginat/bentonit meningkat seperti pada gambar 4.15. Sampel 70A/30B alginat ekstraksi bila dibandingkan dengan sampel 70A/30B penelitian Seung Taek-Oh, keduanya memiliki tingkat kekasaran yang hampir sama.

Pada penelitian sebelumnya oleh Ghosh (2013) disebutkan kekasaran permukaan *scaffold* tulang rawan adalah kisaran $165,4 \pm 5,2$ nm sampai $174 \pm 39,3$ nm pada material komposit alginat/PVA/bovine, bila diukur menggunakan SEM *imaging stereoscopic*.



Gambar 4.15 Hasil SEM komposit hidrogel komposisi 70A/30P dengan perbesaran 500x. Gambar A). Komposit Hidrogel Seung Taek-Oh (2008) dan B). Komposit Hidrogel Alginat Ekstraksi.

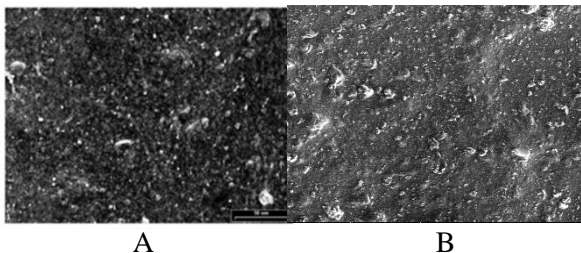


Gambar 4.16 Hasil SEM perbesaran 500x. Sampel Komposit hidrogel Alginat Komersil/PVA/Bentonit A). 70A/30B; B). 70A/15B/15P; C). 70A/10B/20P; D). 70A/5B/25P; E). 70A/30P; F). 70A/20B/10P; G). 70A/25B/5P.

Gambar 4.16 menunjukkan hasil SEM perbesaran 500x pada sampel komposit hidrogel alginat komersil/PVA/bentonit.



Hasil morfologi yang kasar seperti pada gambar 4.17 (A) memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan Seung-Taek Ho (2008) dimana telah dijelaskan sebelumnya. Hasil SEM menunjukkan tingkat kekasaran yang berbeda dan tidak adanya poros kecuali pada sampel dengan komposisi 70A/30P. Pada sampel 70A/30P terlihat adanya pori-pori yang diakibatkan oleh *stirring speed* (1000 rpm) saat proses pembuatan komposit hidrogel seperti hasil penelitian Mao Ye (2014). Dikarenakan tidak adanya campuran bentonit, maka tingkat kekentalan pada sampel 70A/30P berkurang sehingga meningkatkan mobilitas gelembung dalam hidrogel (Mao Ye, 2014). Saat permukaan hidrogel memiliki tingkat kekasaran yang rendah maka ikatan adhesive antar scaffold dengan sel tersebut tidak terlalu kuat. Oleh karena itu, karakteristik morfologi yang kasar diperlukan untuk tempat menempelnya sel dan pertumbuhan sel (Markstedt, 2015). Untuk batasan kekasaran pada morfologi scaffold tulang rawan telah dijelaskan sebelumnya.



Gambar 4.17 Hasil SEM komposit hidrogel komposisi 70A/30P dengan perbesaran 500x. Gambar A). Komposit Hidrogel Seung Taek-Oh (2008) dan B). Komposit Hidrogel Alginat Komersil.

Komposit hidrogel alginat komersil (70A/30B) memiliki tingkat kekasaran yang sama dengan komposit hidrogel Seung Taek-Oh (2008) yang ditunjukkan pada gambar 4.17. Hal ini membuktikan dengan penambahan bentonit maka morfologi komposit menjadi lebih kasar.



4.3 Pengaruh Penambahan Polyvinil Alkohol (PVA) dan Bentonit Terhadap Sifat Fisik Komposit hidrogel

Setelah melakukan pengujian untuk mengetahui morfologi sampel, maka selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui sifat fisik dari sampel tersebut meliputi pengujian viskositas dan uji degradasi.

4.3.1 *Viscosity Bath* (Uji Viskositas)

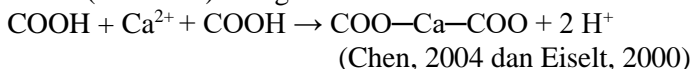
Implementasi komposit hidrogel ke depan akan difabrikasi menggunakan 3D *Printed*. Salah satu ketentuan yang harus dipenuhi adalah mempunyai viskositas yang tinggi, sehingga untuk penelitian ini dilakukan pengujian viskositas dengan menggunakan standart pengujian ASTM D 445-97.

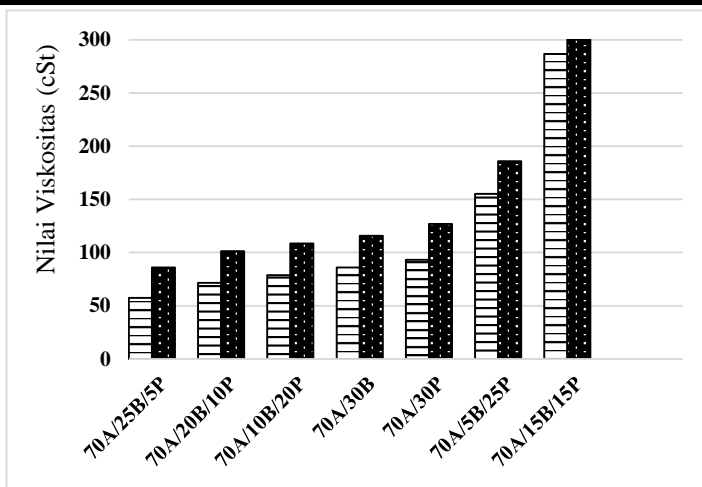
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Viskositas Sodium Alginat Ekstraksi dengan Sodium Alginat Komersil

Sodium Alginat Ekstraksi	Sodium Alginat Komersil
157,61 cSt	93,13 cSt

Nilai viskositas dari hidrogel sodium alginat ekstraksi dan hidrogel sodium alginat komersil ditunjukkan pada tabel 4.5. Nilai viskositas hidrogel sodium alginat ekstraksi adalah 157,61 cSt sedangkan nilai viskositas hidrogel sodium alginat komersil adalah 93,13 cSt. Hal ini dikarenakan jumlah kandungan Na dan Ca dari sodium alginat ekstraksi lebih tinggi dibandingkan dengan sodium alginat komersil. Alginat yang mengandung kation Na^+ , Ca^{2+} , atau K^+ dapat larut dalam air panas maupun dingin dan membentuk larutan stabil (McHugh DJ, 1987).

Sodium alginat (natrium alginat) yang dapat larut, bisa diubah menjadi sebuah hidrogel melalui ikatan silang dengan kation divalen (mis. Ca^{2+}) sebagai berikut. Reaksi:





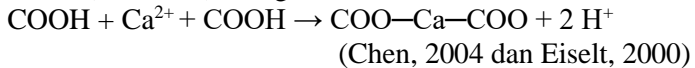
Gambar 4.18 Perbandingan Nilai Viskositas pada Sampel Komposit hidrogel Alginat Komersil (Terang) dengan Komposit hidrogel Alginat Ekstraksi (Gelap)

Perbandingan nilai viskositas pada sampel komposit hidrogel alginat komersil dengan komposit hidrogel alginat ekstraksi ditunjukkan pada gambar 4.18. Secara keseluruhan, komposit hidrogel alginat ekstraksi memiliki angka viskositas yang tinggi dibandingkan komposit hidrogel alginat komersil.

Hasil ini didukung dengan teori bahwa alginat adalah molekul rantai panjang dengan banyak ion negatif (anion). Pada proses penambahan air, molekul-molekul alginat mengalami pengikatan air (King AH, 1982). Asam alginat tidak larut dalam air, hanya swelling (mengembang). Alginat yang mengandung kation Na^+ , Ca^{2+} , atau K^+ dapat larut dalam air panas maupun dingin dan membentuk larutan stabil (McHugh DJ, 1987). Jika kita menarik kembali ke awal bahwa sodium alginat ekstraksi mengandung lebih banyak Na dan Ca dibandingkan dengan sodium alginat komersil, maka dapat diindikasikan untuk sifat kental dari komposit ini dipengaruhi oleh sodium alginat ekstraksi.



Sodium alginat (natrium alginat) yang dapat larut, bisa diubah menjadi sebuah hidrogel melalui ikatan silang dengan kation divalen (mis. Ca^{2+}) sebagai berikut. Reaksi:



Kekuatan hidrogel dari PVA juga mempengaruhi sifat kekentalan dari komposit ini. Semakin banyak konsentrasi berat PVA maka akan terbentuk ikatan C-H yang masih berstruktur kristalin (Kannan, 2017). Struktur kristalin inilah yang mempengaruhi tingkat kekentalan dari komposit.

Penggunaan bentonit yang berlebihan dapat menyebabkan menurunnya kemampuan kekentalan komposit, karena penyerapan air bentonit diketahui lebih rendah daripada alginat (Seung-Taek Oh, 2008). Hal ini sesuai dengan hasil sampel 70A/25B/5P yang memiliki tingkat kekentalan yang paling rendah.

Pada gambar 4.18, terlihat hasil viskositas komposit hidrogel alginat ekstraksi dari yang terendah hingga tertinggi dengan nilai viskositas pada sampel 70A/25B/5P sebesar 85,99 cSt, sampel 70A/20B/10P sebesar 101,46 cSt, sampel 70A/10B/20P sebesar 108,56 cSt, sampel 70A/30B sebesar 115,89 cSt, sampel 70A/30P sebesar 126,82 cSt, sampel 70A/5B/25P sebesar 185,73 cSt, dan sampel 70A/15B/15P sebesar 300,08 cSt. Hasil ini diukur dengan tingkat kelembapan 51% dan temperatur 23°C. Hasil nilai viskositas tertinggi ditunjukkan oleh sampel yang terdiri dari 70% wt alginat ekstraksi, 15% wt bentonit, dan 15% wt PVA.

Pada gambar 4.18 juga terlihat hasil viskositas komposit hidrogel alginat komersil dari yang terendah hingga tertinggi dengan nilai viskositas pada sampel 70A/25B/5P sebesar 57,31 cSt, sampel 70A/20B/10P sebesar 71,64 cSt, sampel 70A/10B/20P sebesar 78,80 cSt, sampel 70A/30B sebesar 85,97 cSt, sampel 70A/30P sebesar 93,13 cSt, sampel 70A/5B/25P sebesar 155,22 cSt, dan sampel 70A/15B/15P sebesar 286,56 cSt. Hasil ini diukur dengan tingkat kelembapan 43% dan temperatur 23°C. Hasil nilai





viskositas tertinggi ditunjukkan oleh sampel yang terdiri dari 70% alginat komersil, 15% bentonit, dan 15% PVA.

Standart viskositas untuk difabrikasi oleh 3D-*printed* melalui metode *extrusion* adalah 300 mPa/s atau diatas 6×10^7 mPa/s (Murphy, 2014). Dimana untuk 1 cSt sama dengan 1 mPa/s. Dengan adanya batasan tersebut, komposit hidrogel alginat ekstraksi dengan komposisi 70A/15B/15P (wt%) telah memenuhi kriteria sehingga dapat dikandidatkan sebagai salah satu material yang mampu difabrikasi oleh 3D-*printed* metode *extrusion*. Untuk komposit hidrogel alginat komersil dengan komposisi 70A/15B/15P memiliki nilai yang hampir mendekati standart viskositas 3D-*printed*.









4.3.2 Visualisasi Pendekatan 3D Printed Komposit

Setelah melihat hasil viskositas dari setiap sampel, baik komposit hidrogel alginat ekstraksi maupun alginat komersil, maka dalam penelitian ini ditampilkan hasil visualisasi dari setiap sampel saat di fabrikasi oleh pendekatan ekstrusion 3D-*Printed* yang ditunjukkan pada tabel 4.6.









Tabel 4.6 Perbandingan visualisasi komposit hidrogel alginat ekstraksi dan komposit hidrogel alginat komersil melalui fabrikasi pendekatan ekstrusion 3D-*Printed*

Komposit hidrogel Alginat Komersil /PVA/Bentonit	Komposit hidrogel Alginat Ekstraksi /PVA/Bentonit
 <p>1A (70% A/30% B)</p>	 <p>3A (70% A/30% B)</p>



 <p>1B (70% A/15% B/15% P)</p>	 <p>3B (70% A/15% B/15% P)</p>
 <p>1C (70% A/10% B/20% P)</p>	 <p>3C (70% A/10% B/20% P)</p>
 <p>1D (70% A/5% B/25% P)</p>	 <p>3D (70% A/5% B/25% P)</p>
 <p>2A (70% A/30% P)</p>	 <p>4A (70% A/30% P)</p>

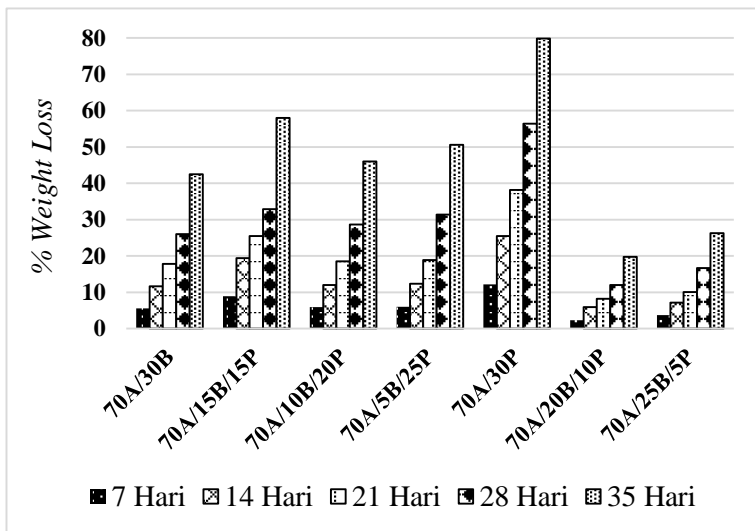


	
2B (70% A/20% B/10% P)	4B (70% A/20% B/10% P)
	
2C (70% A/25% B/5% P)	4C (70% A/25% B/5% P)
	
	
1D (70% A/15% B/15% P)	1D (70% A/15% B/15% P)



4.4 Pengaruh Penambahan Polyvinil Alkohol (PVA) dan Bentonit Terhadap *Hydrolitic Degradation* Komposit hidrogel

Proses degradasi dari scaffold secara in vitro dilakukan dengan melakukan perendaman di dalam larutan PBS pada temperature 37°C selama 35 hari. Pengukuran berat scaffold dilakukan setiap 1 minggu sekali. Larutan PBS ditambahkan setiap 1 minggu sekali setelah penimbangan untuk meyakinkan bahwa seluruh sampel terendam dengan sempurna. Proses degradasi dari komposit hidrogel sodium alginat/PVA/bentonit ini selanjutnya dihitung dari rasio berat pada waktu yang berbeda secara berkala.



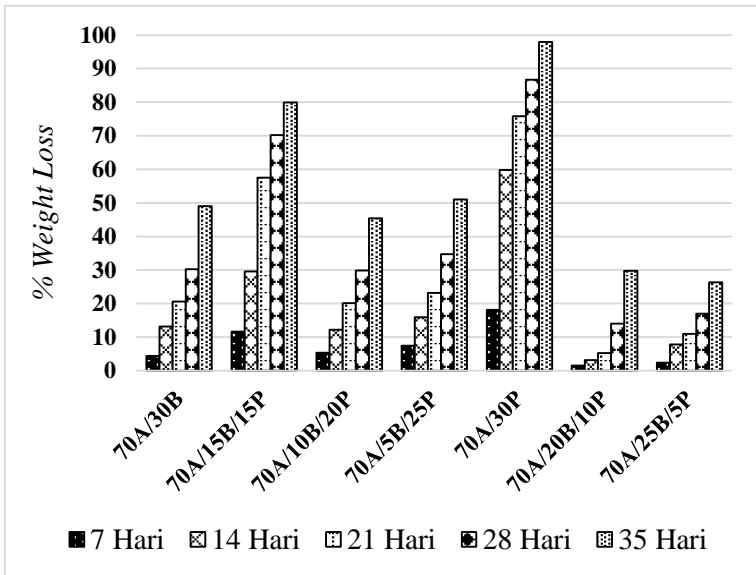
Gambar 4.19 Perbandingan Hasil Degradasi pada Komposit hidrogel Alginat Ekstraksi selama 35 hari

Pada gambar 4.19 disebutkan perbandingan hasil degradasi (*weight loss*) dari ketujuh sampel komposit hidrogel alginat ekstraksi selama 35 hari. Berat awal dari setiap sampel adalah 5 gram. Dari setiap sampel mengalami kenaikan *weight loss*



dari hari ke- 7, 14, 21, dan 35. Sampel yang cepat terdegradasi pada hari ke 35 adalah sampel dengan komposisi 70A/30P dan 70A/15B/15P dengan persen degradasi sebesar 80% dan 60%. Hal ini dikarenakan dari ketiga bahan tersebut memiliki sifat biodegradasi yang cukup tinggi.

Alginat *bioinks* dalam konsentrasi tinggi sangat dipengaruhi oleh ion kalsium (Ca^{2+}). Dalam kondisi basah (seperti pada media kultur sel atau larutan PBS), *scaffold* alginat akan membengkak karena penyerapan air yang efisien. Keterikatan antara serat alginat yang lemah dan ikatan silang ion kalsium yang lemah akibat perendaman menyebabkan berkurangnya kekakuan *scaffold* alginat (Mao Ye, 2014).



Gambar 4.20 Perbandingan Hasil Degradasi pada Komposit hidrogel Alginat Komersil selama 35 hari

Pada gambar 4.20 disebutkan perbandingan hasil degradasi (*weight loss*) dari ketujuh sampel komposit hidrogel



alginat ekstraksi selama 35 hari. Berat awal dari setiap sampel adalah 5 gram. Dari setiap sampel mengalami kenaikan weight loss dari hari ke- 7, 14, 21, dan 35. Sampel yang cepat terdegradasi pada hari ke 35 adalah sampel dengan komposisi 70A/30P dan 70A/15B/15P dengan persen degradasi sebesar 97% dan 80%.

Dari hasil diatas, didapatkan 2 sampel dengan degradasi tertinggi selama 35 hari, yaitu pertama pada sampel komposisi 70A/30P dan yang kedua pada komposisi 70A/15B/15P untuk komposit hidrogel alginat ekstraksi dan alginat komersil. Pada sampel komposisi 70A/30P, tingkat degradasi yang tinggi disebabkan oleh keberadaan pori-pori mikro yang banyak dimana secara signifikan dapat meningkatkan adsorpsi air, degradasi yang tinggi dan menurunkan sifat mekanik scaffold (Yongxiang Luo, 2016). Untuk sampel 70A/15B/15P, hal ini dikarenakan adanya bentonit yang merupakan zat tambahan penting dalam produk medis karena sifat penyerapan dan degradasi yang baik (Mostafa, 2007 dan Sakai, 2004).

Bentonit adalah bahan anorganik inert, yang tidak dapat didegradasi dengan mudah. Oleh karena itu, biodegradabilitas komposit dapat dikontrol dengan pencampuran jumlah bentonit yang berbeda. Berlebihan jumlah bentonit dapat menghasilkan biodegradabilitas yang buruk dan meningkatkan kesulitan dalam pelepasan sel nantinya (Singh, 2009 dan Yanhui, 2015).

Marco (2005) menyebutkan perilaku degradasi perancah (*scaffold*) harus bervariasi berdasarkan aplikasi seperti 9 bulan atau lebih untuk perancah (*scaffold*) tulang belakang dan 2-6 bulan untuk perancah dalam aplikasi tulang rawan. Hal ini didukung oleh penelitian Hyun Chung (2006), disebutkan bahwa *neo-cartilage* terbentuk setelah kultur *in vitro* pada perancah selama 12 minggu dimana menunjukkan ciri morfologi dan sifat biomekanis yang mulai lengkap.

Dengan demikian, setelah melakukan pengujian untuk mengetahui morfologi dan sifat fisik komposit hidrogel alginat ekstraksi dan alginat komersil dengan penambahan bentonit dan PVA maka penelitian ini mengindikasikan komposit dengan



komposisi 70% wt alginat, 15% wt bentonit, dan 15% wt PVA merupakan kandidat yang memenuhi kriteria sebagai regenerasi material perancah (*scaffold*) tulang rawan.

Hasil penelitian ini juga mengindikasikan sintesis sodium alginat melalui ekstraksi jalur CaCl_2 berhasil dilakukan karena memiliki tingkat kemiripan dengan sodium alginat komersil berdasarkan morfologi dan sifat fisiknya. Sehingga dapat dikatakan sodium alginat ekstraksi memiliki fisibilitas untuk digunakan sebagai salah satu alternatif pengganti bahan sodium alginat komersil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan dari studi pengaruh penambahan PVA dan bentonit terhadap morfologi dan sifat fisik komposit berbasis hidrogel alginat sebagai kandidat material perancah untuk regenerasi tulang rawan, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Dengan adanya penambahan bentonit dapat meningkatkan kekasaran pada morfologi komposit hidrogel.
2. Sifat fisik komposit ini ditinjau berdasarkan nilai viskositas dan degradasi material :
 - a. Nilai viskositas yang tinggi didapat oleh komposit sodium alginat ekstraksi dan komersil dengan komposisi 70A/15B/15P. Nilai viskositas yang memenuhi kriteria material yang mampu difabrikasi oleh *3D-Printed* dengan metode *extrusion*, terdapat pada komposit hidrogel alginat ekstraksi 70A/15B/15P sebesar 300,08 mPa/s.
 - b. Untuk hasil degradasi yang optimal selama 35 hari didapatkan pada komposisi 70A/15B/15P untuk komposit hidrogel alginat ekstraksi dan komersil dengan % *weight loss* nya 60% dan 80%.
3. Sodium alginat hasil ekstraksi memiliki fisibilitas yang baik sehingga dapat dijadikan alternatif pengganti untuk sodium alginat komersil sebagai material perancah. Hal ini ditunjukkan dengan:
 - Memiliki kandungan unsur yang mirip dengan sodium alginat komersil (Na, P, Ca, Fe, Cu, dan Br).
 - Komposit hidrogel alginat ekstraksi memiliki gugus fungsi yang sama dengan komposit hidrogel alginat komersil.



- Memiliki indeks kristalinitas dengan beda yang tidak terlalu signifikan dengan komposit hidrogel alginat komersil, yaitu sebesar 43,06% dengan 46,44% .
- Memiliki nilai viskositas dengan *trend* yang sama untuk komposit hidrogel alginat ekstraksi dengan alginat komersil. Pada komposisi 70A/15B/15P, memiliki nilai sebesar 300,08 mPa/s dengan 286,56 mPa/s.
- Ketika difabrikasi menjadi komposit hidrogel, komposit hidrogel alginat ekstraksi memiliki hasil visualisasi yang serupa dengan komposit hidrogel alginat komersil.
- Memiliki % *weight loss* yang hampir serupa dengan komposit hidrogel alginat komersil.

5.2 Saran

Adapun saran yang dihasilkan setelah melakukan penelitian ini adalah

1. Penelitian selanjutnya dapat diarahkan untuk fabrikasi menggunakan 3D-*Printed* yang sebenarnya sehingga dapat mengetahui performa dari masing-masing komposisi komposit hidrogel tersebut.
2. Dapat dilakukan penelitian lanjutan tentang sifat biokompatibilitasnya sehingga tidak hanya penelitian karakteristik saja. Dengan begitu dapat diketahui performa biokompatibiliti masing-masing komposisi komposit hidrogel.



DAFTAR PUSTAKA

- Agus, Emas. 2017. *Sintesis Komposit N-TIO₂/Bentonit dan Karakterisasi Menggunakan FTIR*.
- Anwar, Hina dan Ahmad, Mahmood. 2017. *Alginate-Polyvinyl Alcohol Based Interpenetrating Polymer Network for Prolonged Drug Therapy, Optimization And In-Vitro Characterization*. Faculty of Pharmacy and Alternative Medicine, The Islamia University of Bahawalpur 63100, Punjab, Pakistan, halaman 183-194.
- Alabarse, Frederico. 2011. *In-situ FTIR analyses of bentonite under high-pressure*. Applied Clay Science 51, halaman 202-208.
- Atmadja, W.S., A., Kadi, Sulistijo dan R. Satari. 2012. *Pengenalan Jenis-Jenis Rumput Laut Indonesia*. Puslitbang. Oseanologi LIPI: Jakarta.
- A.A., Abbas, S.Y., Lee, dan L., Selvaratnam, Eur. 2008. *Cells Mater-16*, halaman 50.
- Badri, Kannan. 2017. *Dual-crosslinked poly(vinyl alcohol)/sodium alginate/silver nanocomposite beads. A promising antimicrobial material*. Food Chemistry 234, halaman 103–110
- Benson, K., Galla, H.J., dan Kehr, N.S. 2014. *Cell adhesion behavior in 3D hydrogel scaffolds functionalized with D- or L-amino acids*. Macromol. Biosci. 14 (6), halaman 793–798.
- Bernhardt, A., Despang, Lode A., Demmler, A., Hanke, T., dan Gelinsky, M. 2009. *Proliferation and osteogenic differentiation of human bone marrow stromal cells on alginat–gelatine–hydroxyapatit scaffolds with anisotropic*



-
- pore struture*. J Tissue Engineering Regen Med 3(1), halaman 54–62.
- Bixler, H.J., dan Porse, H. 2010. *A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry*. J-Appl. Phycol., DOI 10.1007/s10811-010-9529-3.
- Bracci, R., Maccaroni, E., dan Cascinu, S. 2013. *Transient sunitinib resistance in gastrointestinal stromal tumors*. N. Engl. J. Med. 368 (21), halaman 2042–2043.
- Brindley, G.W., Brown, G., 1980. *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*. Mineralogical Society, London.
- B. A., Mostafa dan F. F. Assaad, J. 2008. *Appl. Polym. Sci.*, 104, halaman 3886.
- B.B., Mandal, dan S.C., Kundu. 2009. *Biomaterials*-30, halaman 2956–2965.
- Castellóá, Júlia. 2014. *Chitosan (or alginate)-coated iron oxide nanoparticles: A comparative study*. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 468, halaman 151–158.
- Chalvyn, S.P., dan Hidayat, S.S. 2016. *Potensi Dan Pemanfaatan Bahan Aktif Alga Cokelat Sargassum sp.* Volume 5 Nomor 2.
- C. Ji, dan F. Dehghani. 2013. *Acta Biomater*-8, halaman 570–578.
- Dawes, C. 1981. *Marine Botany*. John Wiley and Sons, Inc. Canada.
- Decky J Indriani dan Emil Budianto. 2013. *A study of extraction and characterization of alginates obtained from brown macroalgae Sargassum duplicatum and Sargassum crassifolium from Indonesia*. Dental jurnal Majalah Kedokteran Gigi Volume 46 no 2.
- Decky J., Indriani. 2013. *Komposit Hidroksiapatit Kalsinasi Suhu Rendah Dengan Alginat Sargassum Duplicatum Atau*
-



-
- Sargassum Crassifolium* Sebagai Material Scaffold Untuk Pertumbuhan Sel Punca Mesenkimal. Dental jurnal Majalah Kedokteran Gigi Volume 46 no 2.
- Discher, D.E., Janmey, P., dan Wang, Y.L. 2005. *Tissue cells feel and respond to the stiffness of their substrate*. Science 310 (5751), halaman 1139–1143.
- Draget K.L., Smidsroed, O., dan Skjak-Braek, G. 2006. *Alginates from Algae*. In: Steinbuechel A, Rho SK. *Polysaccharides, polyamides, in the food industry, properties, production and patents*. KgoA Weinbeim: Wiley-VCH Verslag GmBH & Co, halaman 30.
- Dou, X.Q., Yang, X.M., Li, P., Zhang, Z.G., Schönherr, H., dan Zhang, D. 2012. *Novel pH responsive hydrogels for controlled cell adhesion and triggered surface detachment*. Soft Matter 9539.
- Erulan, V., P., Soundarapandian, G., Thirumaran dan G., Ananthan. 2009. *Studies on The Effect of Sargassum polycystum (C. Agardh, 1824) Extract on The Growth and Biochemical Composition of Cajanus cajan (L.) Mill sp.* American-Eurasian J. Agricultural & Environment Science-6(4), halaman 392-399.
- E. Reverchon, dan S., Cardea. 2012. *Supercritical fluids in 3-D tissue engineering*. JSupercrit. Fluids 69, halaman 97–107.
- Farmer, V.C., 1974. *The Infrared Spectra of Minerals*. Mineralogical Society, London.
- Fonseca, Elizabeth. 2006. *Synthesis and Characterization of Poly (Vinyl Alcohol) Hydrogels and Hybrids for rMPB70 Protein Adsorption*. Materials Research, Vol. 9, No. 2, 185-191.
-



-
- F. Dehghani, dan N., Annabi. 2011. *Engineering porous scaffolds using gas-based techniques*, Curr Opin Biotechnol-22, halaman 661–666.
- F.G., Thankam, J., Muthu, V., Sankar, dan R.K., Gopal. 2013. *Growth and survival of cells in biosynthetic poly vinyl alcoholealginate IPN hydrogels for cardiac applications*. Colloids Surf. B Biointerfaces-107, halaman 137-145.
- Gauvin, R., Chen, Y.C., Lee, J.W., Soman, P., Zorlutuna, P., dan Nichol, J.W. 2012. *Microfabrication of complex porous tissue engineering scaffolds using 3D projection stereolithography*. Biomaterials-33 (15), halaman 3824–3834.
- Gerasimenko, N.I., Busarova, N.G., dan Moiseenko, O.P. 2010. *Seasonal Changes in the Content of Lipids, Fatty Acids, and Pigments in Brown Alga Costaria costata*. Russian J. Plant Physiol-57(2), halaman 205-211.
- Ghosh, Siddharth. 2013. *Investigation of techniques for the measurement of articular cartilage surface roughness*. Micron 44, halaman 179–184.
- Gomez, C.G., Marcelo, dan Lambrecht, M.V.P. 2009. *Influence of the extraction–purification conditions on final properties of alginates obtained from brown algae (Macrocystis pyrifera)*. International Journal of Biological Macromolecules-44, halaman 365–371
- Gruene, M., Unger, C., Koch, L., Deiwick, A., dan Chichkov, B. 2011. *Dispensing pico to nanolitre of a natural hydrogel by laser-assisted bioprinting*. Biomed. Eng. Online 10 (1), halaman 19.
- Gunatillake, P.A., dan Adhikari, R. 2003. *Biodegradable synthetic polymers for tissue engineering*. Eur. Cell. Mater-5, halaman 1–16.
-



-
- Guirguis, O.W., dan Moselhey, M.T. 2012. *Thermal and structural studies of poly (vinyl alcohol) and hydroxypropyl cellulose blends*. Natural Science-4, halaman 57–67.
- Hobkirk, J.A. 1988. *Definitions in biomaterials*. Clin. Mater, halaman 261.
- Husni, A., dan Subaryono. 2012. *Pengembangan Metode Ekstraksi Alginat Dari Rumput Laut Sargassum sp. Sebagai Bahan Pengental*. Agritech, Vol. 32.
- Hutmacher, D.W. 2000. *Scaffolds in tissue engineering bone and cartilage*. Biomaterials-21 (24), halaman 2529–2543.
- Hyun Chung, So. 2006. *Investigation of scaffold materials for cartilage tissue engineering*. Spring BME 240 Website (<http://bme240.eng.uci.edu>)
- H.P., Hentze, dan M., Antonietti. 2002. *Porous polymers and resins for biotechnological and biomedical applications*. Rev Mol Biotechnol-90, halaman 27–53.
- Is, iklan, N., Inal, M., dan Yiğitoğlu, M. 2008. *Synthesis and characterization of poly (N-vinyl-2-pyrrolidone) grafted sodium alginate hydrogel beads for the controlled release of indomethacin*. Journal of Applied Polymer Science-110, halaman 481–493.
- James, B.T., David, J., Timson, Richard, J., Reece, dan Hazel M., Holden. 2005. *Molecular structure of human galactokinase*. The Journal of Biological Chemistry-280(10), halaman 9662-9670.
- J.E., Davies, L., Guan, dan D., Lickorish. 2004. *Eur. Cells Mater*-7, halaman 28.
- J.S., Chen, S.L., Tu, dan R.Y., Tsay. 2010. *A morphological study of porous polylactide scaffolds prepared by thermally induced phase separation*. J. Taiwan Inst. Chem. Eng-41, halaman 229–238.
-



-
- Kadi, A. 2005. *Beberapa Catatan Kehadiran Marga Sargassum di Perairan Indonesia*. Oseana-30(4), halaman 19-29.
- Kakita, H., dan Kamishima, H. 2008. *Some properties of alginate gels derived from algal sodium alginates*. J Applied Phycology-20(5), halaman 93–112.
- Karageorgiou, V., dan Kaplan, D. 2005. *Porosity of 3D biomaterial scaffolds and osteogenesis*. Biomaterials-26, halaman 5474.
- Keriquel, V., Guillemot, F., Arnault, I., Guillotin, B., Miraux, S., dan Amédée, J. 2010. *In vivo bioprinting for computer and robotic assisted medical intervention: preliminary study in mice*. Biofabrication-2(1), halaman 141.
- Khademhosseini, A., Langer, R., Borenstein, J., dan Vacanti, J.P. 2006. *Tissue engineering special feature: microscale technologies for tissue engineering and biology*. Proc. Natl. Acad. Sci-103(8), halaman 2480–2487.
- Khalil, S., dan Sun, W. 2009. *Bioprinting endothelial cells with alginate for 3D tissue constructs*. J Biomech Eng-131(11), halaman 111002.
- Kim, H.N., Kang, D.H., Kim, M.S., Jiao, A., Kim, D.H., dan Suh, K.Y. 2012. *Patterning methods for polymers in cell and tissue engineering*. Ann. Biomed. Eng-40(6), halaman 1339–1355.
- Kuo, C., dan Ma, P.X. 2001. *Ionically crosslinked alginate hydrogels as scaffolds for tissue engineering: part 1. Structure, gelation rate and mechanical properties*. Biomaterials-22(6), halaman 511–521.
- Kusumaningrum, I., B.H., Rini, dan H., Sri. 2007. *Pengaruh Perasan Sargassum crassifolium dengan Konsentrasi yang Berbeda Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (Glycine max (L) Merrill)* 15(2).
-



-
- K.T., Shalumon, K.H., Anulekha, S.V., Nair, S.V., Nair, K.P., Chennazhi, R., Jayakumar. 2011. *Sodium alginate/poly(vinyl alcohol)/nano ZnO composite nanofibers for antibacterial wound dressings*. Biomaterial-49(3), halaman 247-254.
- Lee, J.S., Hong, J.M., Jung, J.W., Shim, J.H., Oh, J.H., dan Cho, D.W. 2014. *3D printing of composite tissue with complex shape applied to ear regeneration*. Biofabrication-6(2), halaman 24103.
- Limpanuphap, S., dan Derby, B. 2002. *Manufacture of biomaterials by a novel printing process*. J. Mater. Sci. Mater. Med, halaman 1163–1166.
- Luo, Yongxiang. 2016. *3D Bioprinting Scaffold Using Alginate/Polyvinyl Alcohol Bioinks*. Materials Letters-189, halaman 295–298.
- Mandrycky, C., Wang, Z., Kimb, K., dan Kima, Deok-Ho. 2016. *3D bioprinting for engineering complex tissues*. Biotechnology Advances-34, halaman 422–434
- Manjubala, I., Scheler, S., Bössert, J., dan Jandt, K.D. 2006. *Mineralization of chitosan scaffolds with nano-apatite formation by double diffusion technique*. Acta Biomater-2, halaman 75.
- Mao, Ye. 2014. *Morphology and properties of poly vinyl alcohol (PVA) scaffolds: Impact of process variables*. Materials Science and Engineering-C42, halaman 289–294.
- Markstedt, K., Mantas, A., Tournier, I., Martínez Ávila, H., Hägg, D., dan Gatenholm, P. 2015. *3D bioprinting human chondrocytes with nanocellulose–alginate bioink for cartilage tissue engineering applications*. Biomacromolecules-16(5), halaman 1489–1496.
-



-
- Marco A., Velasco. 2015. *Design, Materials, and Mechanobiology of Biodegradable Scaffolds for Bone Tissue Engineering*. Biomed Res Int. 729076.
- McHugh, D.J. 1987. *A guide to the seaweed industry*. FAO Fisheries Technical Paper-441, halaman 105.
- Mikos, A.G., Sarakinos, G., Lyman, M.D., Ingber, D.E., Vacanti, J.P., and Langer, R. 1993. *Prevascularization of porous biodegradable polymers*. Biotechnol Bioeng-42, halaman 716.
- Moe, S.T., Draget, K.I., Skjåk-Bræk, G., dan Smidsrød, O. 1995. *Alginates*, In A. M. Stephen (Ed.), *Food polysaccharides and their applications*. New York: Marcel Dekker, halaman 245-286.
- Mohamadnia, Z., Zohuriaan-Mehr, M., Kabiri, K., Jamshidi, A., dan Mobedi, H. 2007. *pH sensitive ipn hydrogel beads of carrageenan-alginate for controlled drug delivery*. Journal of Bioactive and Compatible Polymers-22, halaman 342–356.
- Mohan, N., Nair P.D. 2005. *Novel porous, polysaccharide scaffolds for tissue engineering applications*. Trends Biomater Artif Organs-18, halaman 219-224.
- Murphy, S.V., dan Atala, A. 2014. *3D bioprinting of tissues and organs*. Nat. Biotechnol-32(8), halaman 773–785.
- Murphy, S.V., Skardal, A., dan Atala, A. 2013. *Evaluation of hydrogels for bio-printing applications*. J. Biomed. Mater. Res-A101A(1), halaman 272–284.
- Mutia, Theresia, Eriningsih, R., dan Safitri, R. 2011. *Membran Alginat Sebagai Pembalut Luka Primer Dan Media Penyampaian Obat Topikal Untuk Luka Yang Terinfeksi*. Jurnal Riset Industri Vol. V, No.2, halaman 161-174.
-



-
- M., George, T.E., Abraham. 2006. *Control Release*-114, halaman 1–14.
- M., Mravic, B., Péault, A.W., James. 2014. *Biomed Res Int*. 2014, halaman 865270
- M.S., Silverstein. 2014. *PolyHIPEs: recent advances in emulsion-templated porous polymers*, Prog. Polym. Sci-39, halaman 199–235.
- Nair, L.S., dan Laurencin, C.T. 2007. *Biodegradable polymers as biomaterials*. Prog. Polym. Sci-32, halaman 762–798.
- Nasim Golafshan. 2017. *Nanohybrid Hydrogels of Laponite: PVA-Alginate as a potential wound healing material*.
- Nasim, Golafshan. 2016. *Tough and conductive hybrid graphene-PVA: Alginate fibrous scaffolds for engineering neural construct*. Carbon 111 (2017) 752e763
- Nichol, J.W., Koshy, S.T., Bae, H., Hwang, C.M., Yamanlar, S., dan Khademhosseini, A. 2010. *Cell-laden microengineered gelatin methacrylate hydrogels*. Biomaterials-31(21), halaman 5536–5544.
- N.R., Gascon, M., Wininger, J.I., Scheinbeim, B.L., Firestein, dan W., Craelius. 2013. *Piezoelectric substrates promote neurite growth in rat spinal cord neurons*. Ann. Biomed. Eng-41(1), halaman 112-122.
- Peppas, N., Huang, Y.T., Lugo, M., Ward, J., dan Zhang, J. 2002. *Physico chemical foundations and structural design of hydrogels in medicine and biology*. Annual Review of Biomedical Engineering-2, halaman 9–29.
- Poncomulyo, T., M., Herti dan K., Lusi. 2006. *Budi Daya dan Pengolahan Rumput Laut*. PT. Agro Media Pustaka: Jakarta.
- P., Eiselt, J., Yeh, R.K., Latvala, L.D., Shea, dan D.J., Mooney. 2000. *Biomaterials*-21, halaman 1921.
-



-
- P., Honghyun, J.L., Hyun, A., Hyoseok, dan Y.L., Kuen. 2017. *Alginate hydrogels modified with low molecular weight hyaluronatefor cartilage regeneration*. Carbohydrate Polymers-162, halaman 100–107.
- P., Lienmann, G., Loew, S., Burt, J., Lawless, dan R.D., Macelroy. 1982. *Inorg. Chem-21*, halaman 1586.
- Q., Gao, Y., He, J., Fu, A., Liu, dan L., Ma. 2015. *Biomaterials-61*, halaman 203–215.
- Q., Zhang, Y., Zhang, dan M.D., Lang. 2013. *Polymer Degradation*. Stab-98, halaman 209–218.
- Saxena, S.K. 2004. *Chemical and Technical Assessment (CTA)*
- Schuurman, W., Khristov, V., Pot, M.W., Van Weeren, P.R., Dhert, W.J.A., dan Malda, J. 2011. *Bioprinting of hybrid tissue constructs with tailorable mechanical properties*. Biofabrication-3(2), halaman 21001.
- Seung-Taek Oh. 2008. *The Effect of Bentonite Concentration on the Drug Delivery Efficacy of a pH-sensitive Alginate/Bentonite Hydrogel*. Fibers and Polymers 2009, Vol.10, No.1, 21-26.
- Sohier, J., Moroni, L., Van Blitterswijk, C., De Groot, K., dan Bezemer, J.M. 2008. *Critical factors in the design of growth factor releasing scaffolds for cartilage tissue engineering*. Expert Opin Drug Deliv-5, halaman 543–566.
- S.A., Stone, P., Gosavi, T.J., Athauda, dan R.R., Ozer. 2013. *Material Letter-112*, halaman 32-35.
- S.C., Chen, Y.C., Wu, F.L., Mi, Y.H., Lin, L.C., Yu, dan H.W., Sung. 2004. *Controlled Release-96*, halaman 285.
- S., Khalil, J., Nam, dan W., Sun. 2005. *Rapid Prototype*. J-11, halaman 9–17.
-



-
- S.M., Lien, L.Y., Ko, dan T.J., Huang. 2009. *Acta Biomater*-5, halaman 670–679.
- S., Naghavi Alhosseini, F., Moztaezadeh, S., Kargozar, M., Dodel, dan M., Tahriri. 2015. *Development of polyvinyl alcohol fibrous biodegradable scaffolds for nerve tissue engineering applications: in vitro study*. Int. J. Polym. Mater. Polym. Biomater-64(9), halaman 474-480.
- S.N., Pawar, dan K.J., Edgar. 2012. *Biomaterials*-33, halaman 3279–3305.
- S., Sakai, T., Ono, H., Ijima, dan K., Kawakami. 2004. *Biochem. Eng. J*-22, halaman 19.
- Tjitrosoepomo, G. 2001. *Taksonomi Tumbuhan : Schizophyta, Thallophyta, Bryophyta dan Pteridophyta*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- T., Ding, W.W., Lu, Y., Zheng, Z.Y., Li, H.B., Pan, dan Z., Luo. 2011. *Rapid repair of rat sciatic nerve injury using a nanosilver-embedded collagen scaffold coated with laminin and fibronectin*. Regen. Med-6(4), halaman 437-447.
- T., Xu, W., Zhao, J.M., Zhu, M.Z., Albanna, J.J., Yoo, dan A., Atala. 2013. *Biomaterials*-34, halaman 130–139.
- Murobbiyatul, Wathoniyyah. 2016. *Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Sodium Alginat-Karaginan Dengan Crosslinker CaCl₂ Dan Plasticizer Gliserol Sebagai Material Drug Release*. Universitas Airlangga.
- Weiner, A.A., Shuck, D.M., Bush, J.R., dan Prasad Shastri, V. 2007. *In vitro degradation characteristics of photocrosslinked anhydride systems for bone augmentation applications*. Biomaterials-28(35), halaman 5259–5270.
-



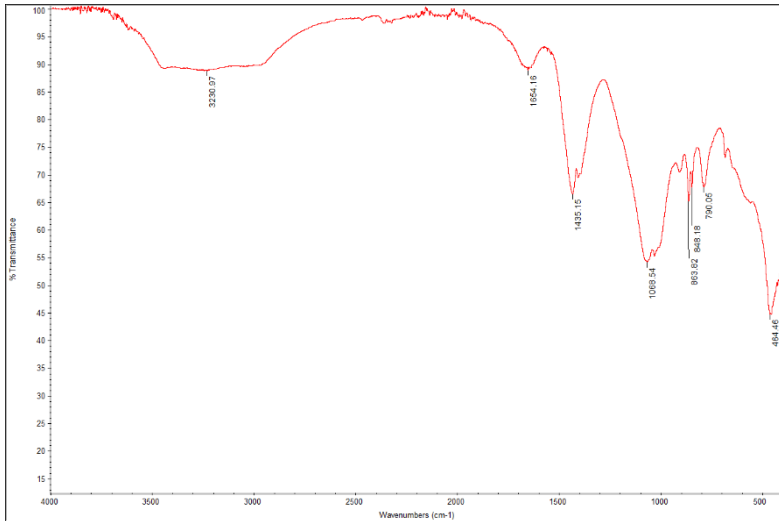
-
- Williams, D.F. 2008. *On the mechanisms of biocompatibility*. Biomaterials-29(20), halaman 2941–2953.
- W.R., Gombotz, dan S.F., Wee. 2012. *Adv.Drug Delivery*. Rev-64, halaman 194–205.
- Xu, T., Binder, K.W., Albanna, M.Z., Dice, D., Zhao, dan W., Yoo. 2013. *Hybrid printing of mechanically and biologically improved constructs for cartilage tissue engineering applications*. Biofabrication-5(1), halaman 15001.
- Ye, Mao. 2014. *Morphology and properties of poly vinyl alcohol (PVA) scaffolds: Impact of process variables*. Materials Science and Engineering C-42, halaman 289–294.
- Yulianto, K., Setiapermana, F., Pettipeilohy, dan Mansur, A. 2004. *Pengembangan pengolahan rumput laut*. Laporan Triwulan II. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, halaman 9-12.
- Y.M., Tien, P.L., Wu, W.H., Huang, M.F., Kuo, dan C.A., Chu. 2007. *Powder Technology-173*, halaman 140.
- Zhou, Xue-Hua. 2016. *Development of poly (vinyl alcohol) porous scaffold with high strength and well ciprofloxacin release efficiency*. Materials Science and Engineering-C67, halaman 326-335.
- Zhu, J., dan Marchant, R.E. 2011. *Design properties of hydrogel tissue-engineering scaffolds*. Expert Rev. Med. Devices 8 (5), 607–626.
- Zorlutuna, P., Vrana, N.E., dan Khademhosseini, A. 2013. *The expanding world of tissue engineering: the building blocks and new applications of tissue engineered constructs*. IEEE Rev. Biomed. Eng-6, halaman 47–62.
-



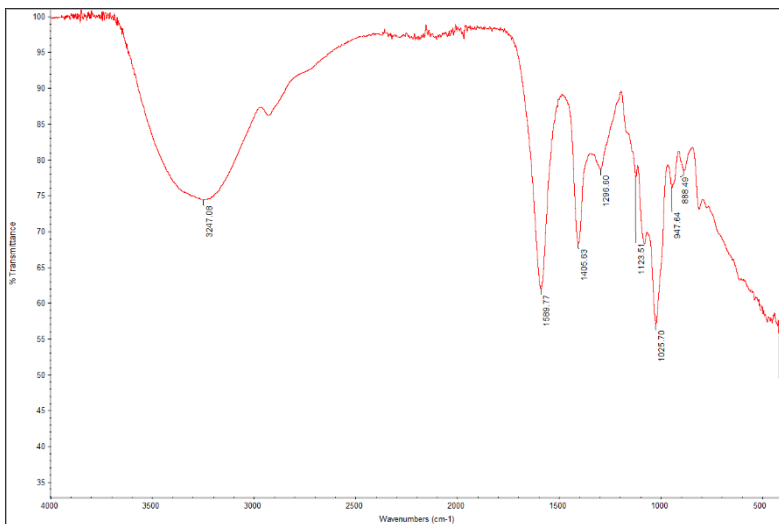
Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material FTI-ITS

LAMPIRAN

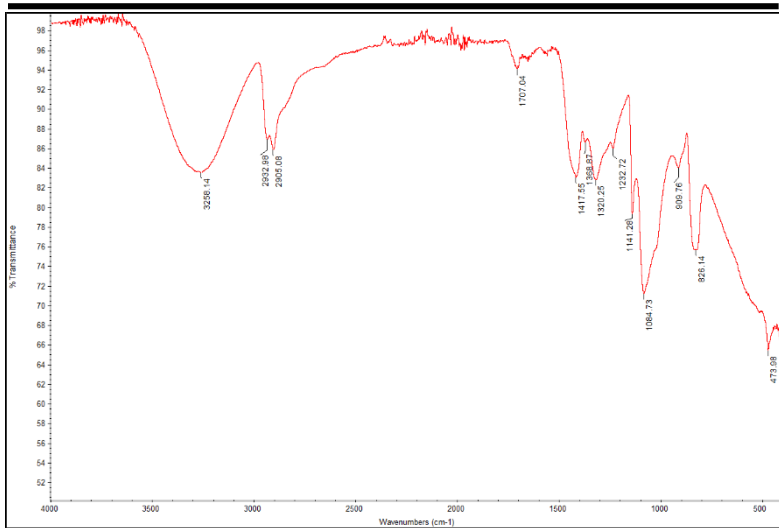


Gambar 1 Spektra FT-IR Sodium Alginat Ekstraksi Jalur CaCl_2

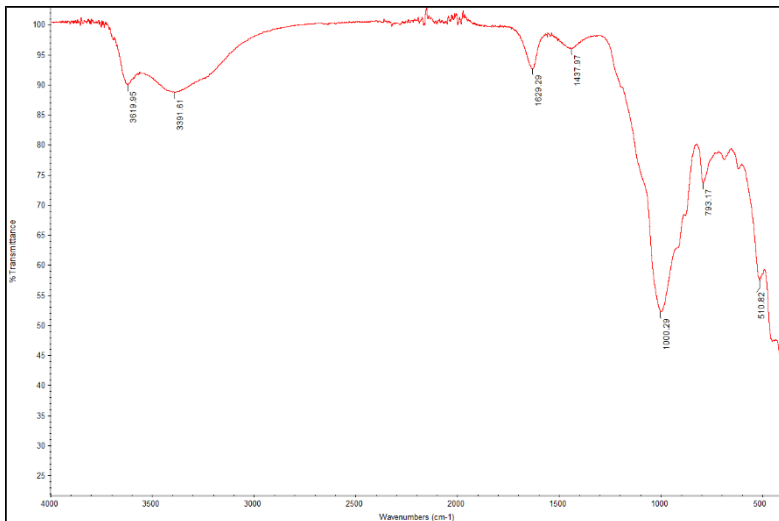


Gambar 2 Spektra FT-IR Sodium Alginat Komersil

Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

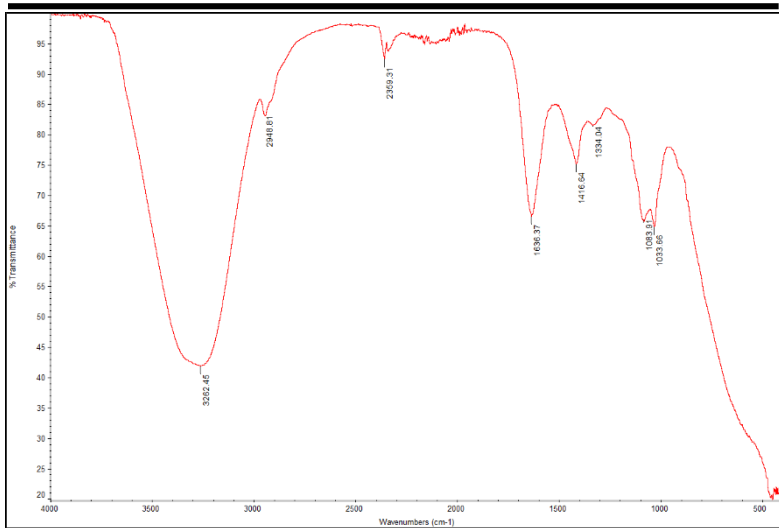


Gambar 3 Spektra FT-IR PVA (PolyVinil Alkohol)

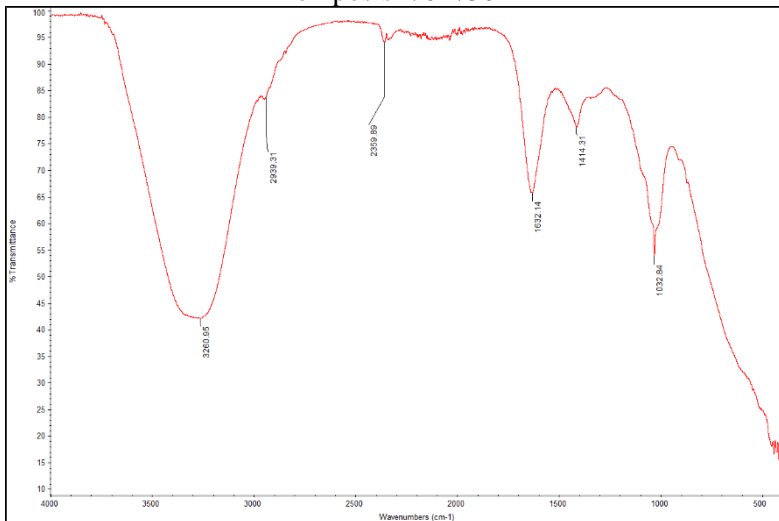


Gambar 4 Spektra FT-IR Bentonit

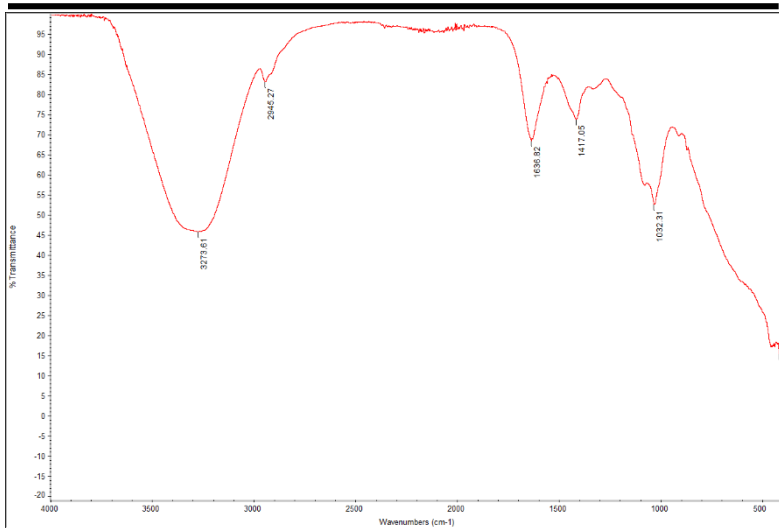
Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



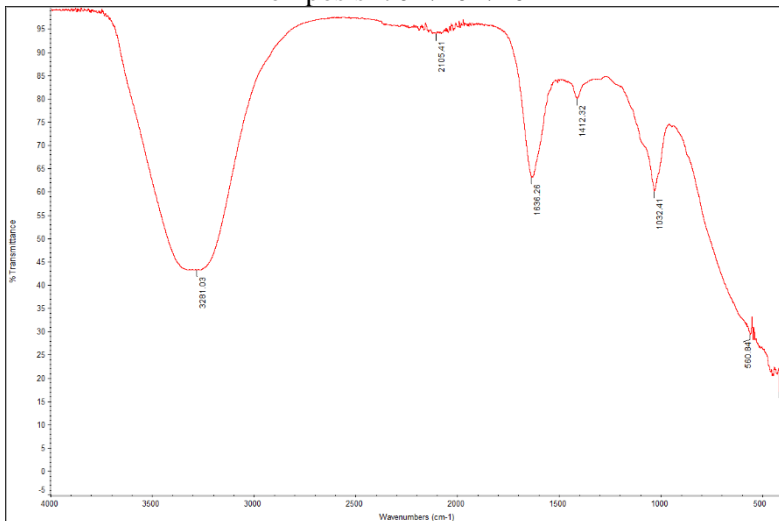
Gambar 5 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi
Komposisi 70A/30B



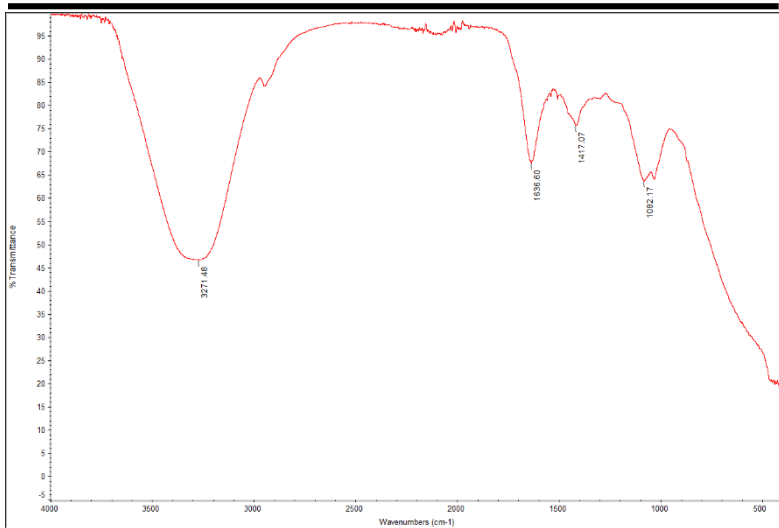
Gambar 6 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi
Komposisi 70A/15B/15P



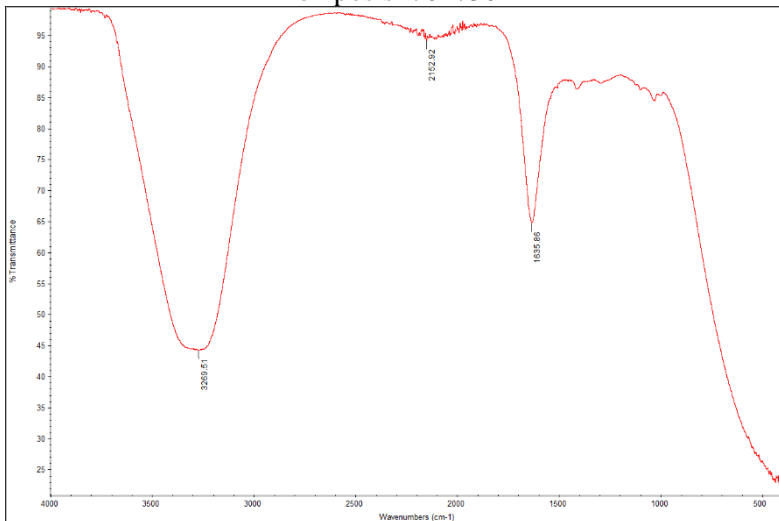
Gambar 7 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi
Komposisi 70A/10B/20P



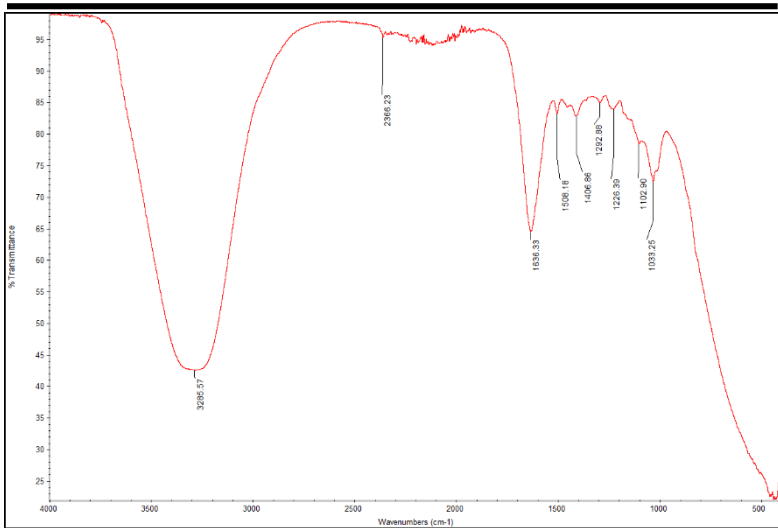
Gambar 8 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi
Komposisi 70A/5B/25P



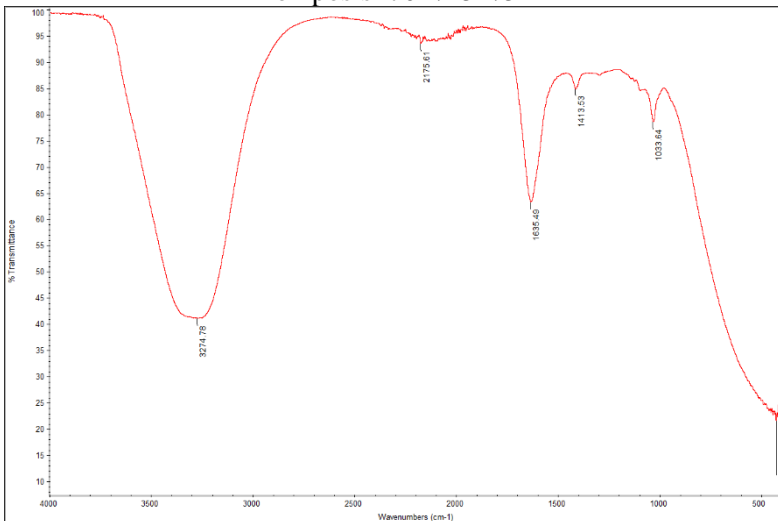
Gambar 9 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi
Komposisi 70A/30P



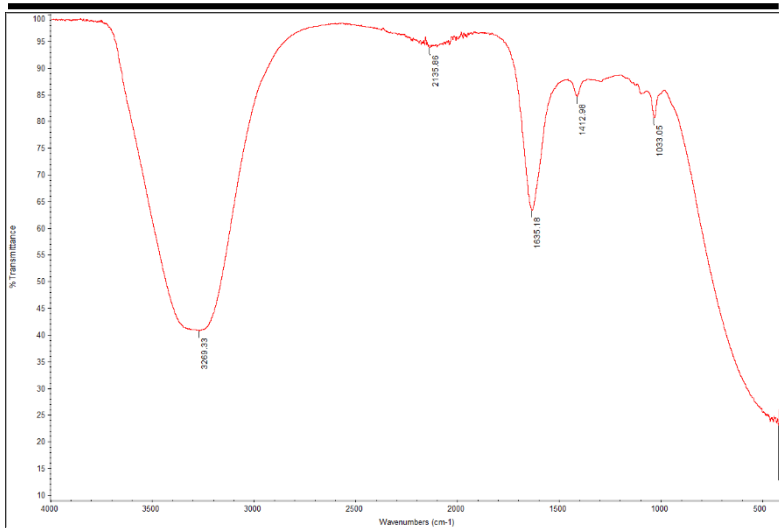
Gambar 10 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi
Komposisi 70A/20B/10P



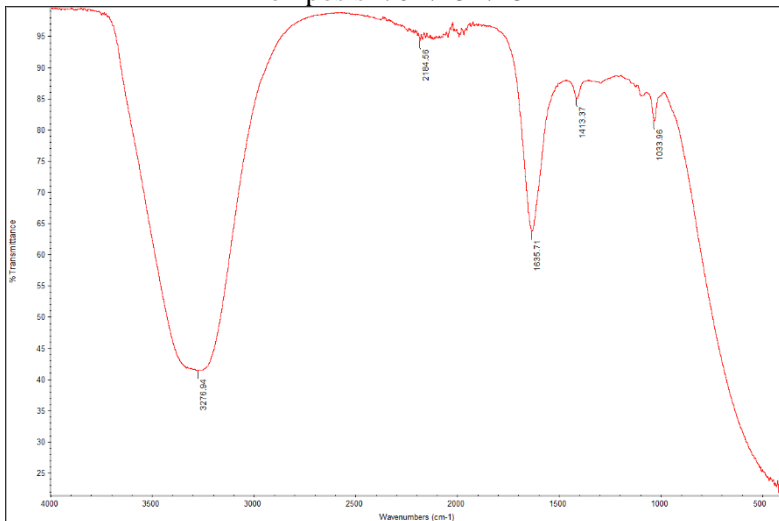
Gambar 11 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi
Komposisi 70A/25B/5P



Gambar 12 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Komersil
Komposisi 70A/30B

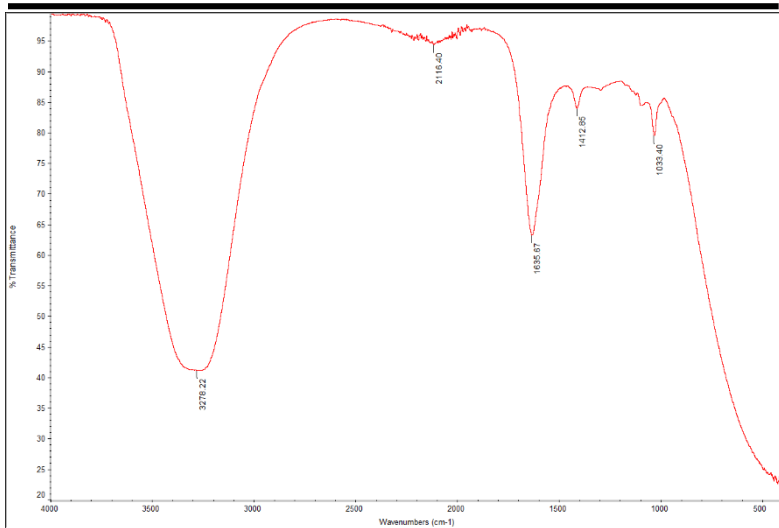


Gambar 13 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Komersil
Komposisi 70A/15B/15P

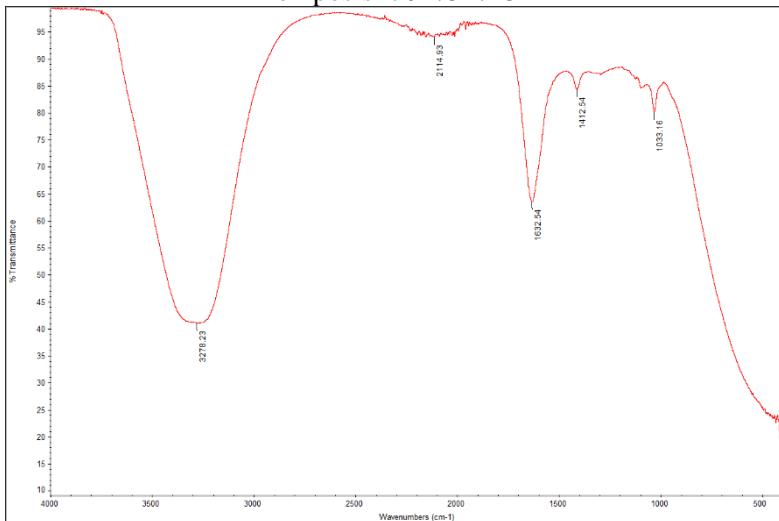


Gambar 14 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Komersil
Komposisi 70A/10B/20P

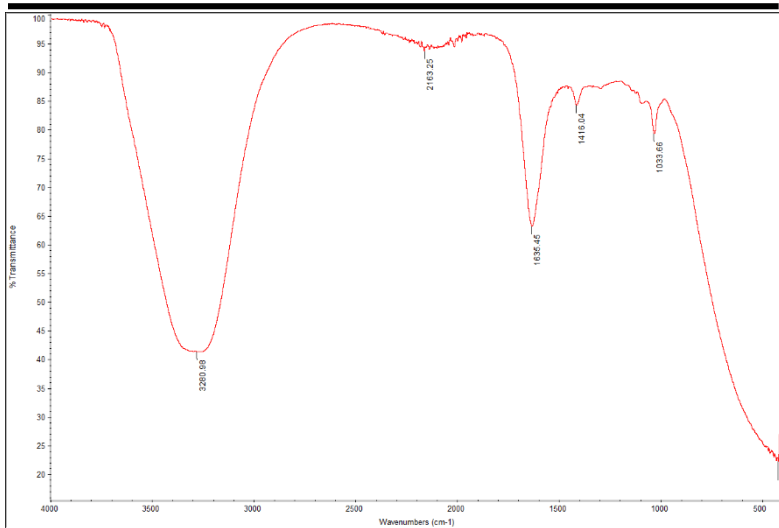
Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



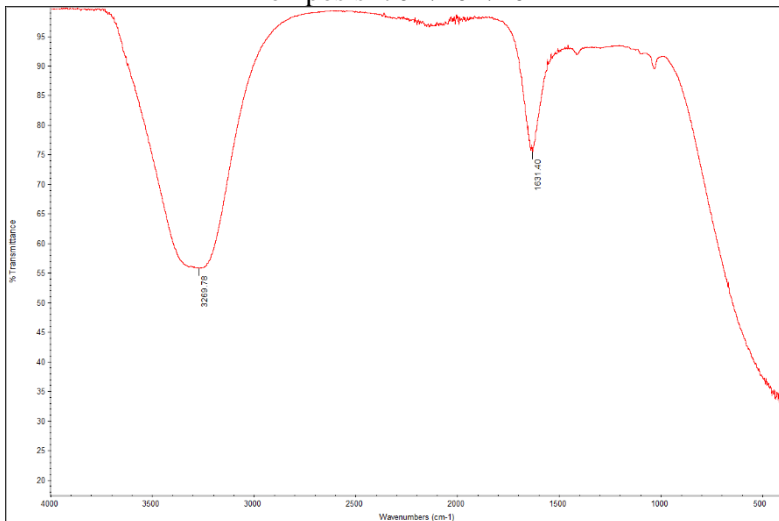
Gambar 15 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Komersil
Komposisi 70A/5B/25P



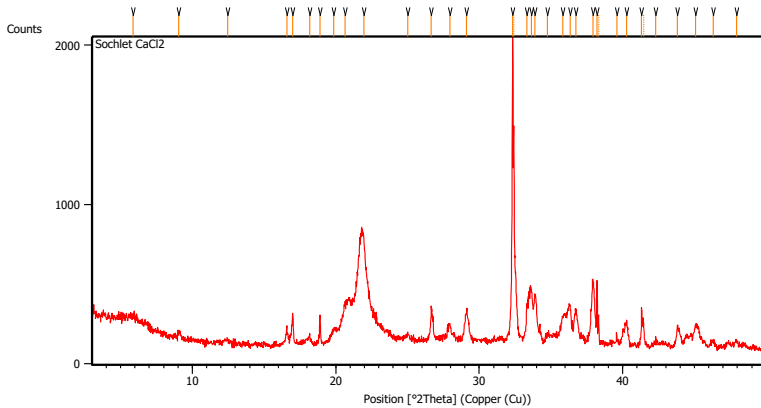
Gambar 16 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Komersil
Komposisi 70A/30P



Gambar 17 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Komersil
Komposisi 70A/20B/10P



Gambar 18 Spektra FT-IR Hidrogel Komposit Alginat Komersil
Komposisi 70A/25B/5P



Gambar 19 Difraktogrami XRD Sodium Alginat Ekstraksi Soxhlet Jalur CaCl_2

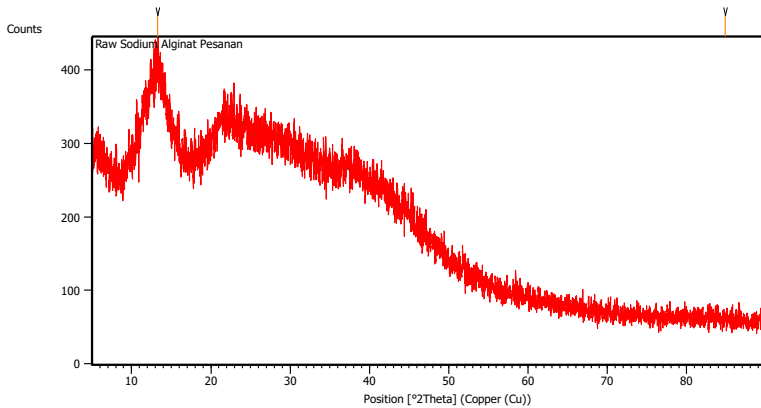
Tabel 1 *Peak List* Difraktogrami XRD Sodium Alginat Ekstraksi Soxhlet Jalur CaCl_2

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.8886	47.90	0.4015	15.00889	2.52
9.0623	35.89	0.2007	9.75856	1.89
12.4458	16.99	0.8029	7.11218	0.90
16.5804	92.07	0.1004	5.34678	4.85
17.0082	172.06	0.0836	5.21324	9.07
18.1807	43.79	0.2007	4.87960	2.31
18.9022	147.65	0.0669	4.69495	7.78
19.8677	66.90	0.3346	4.46892	3.53
20.6355	208.26	0.3346	4.30435	10.97
21.9663	575.91	0.2676	4.04649	30.35
25.0223	34.02	0.2007	3.55878	1.79
26.6662	190.66	0.0836	3.34300	10.05
27.9526	102.31	0.2007	3.19202	5.39
29.1185	184.86	0.3011	3.06681	9.74
32.3250	1897.76	0.0612	2.76725	100.00

Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



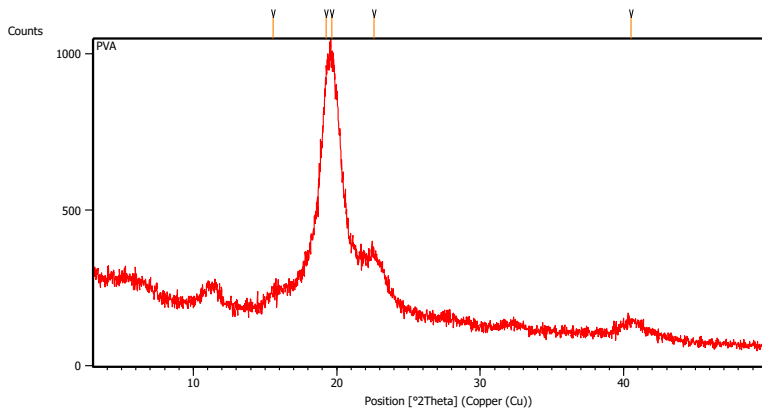
32.4185	1266.68	0.0408	2.76634	66.75
33.3426	237.28	0.2040	2.68508	12.50
33.6228	339.55	0.2040	2.66335	17.89
33.8980	289.46	0.1428	2.64235	15.25
34.7421	49.25	0.3264	2.58006	2.60
35.8443	170.98	0.2448	2.50321	9.01
36.3294	232.16	0.2448	2.47089	12.23
36.7362	211.72	0.1632	2.44446	11.16
37.9202	406.44	0.1428	2.37081	21.42
38.2119	409.89	0.0612	2.35338	21.60
38.3180	181.32	0.0612	2.35294	9.55
39.5990	48.95	0.1224	2.27408	2.58
40.2947	130.99	0.2856	2.23641	6.90
41.3271	238.68	0.0612	2.18290	12.58
41.4600	140.88	0.0612	2.18161	7.42
42.3119	23.23	0.6528	2.13434	1.22
43.8181	122.27	0.2040	2.06440	6.44
45.0904	135.05	0.2856	2.00906	7.12
46.3026	39.56	0.2448	1.95925	2.08
47.9388	43.23	0.2448	1.89613	2.28



Gambar 20 Difraktogrami XRD Sodium Alginat Komersil

Tabel 2 *Peak List* Difraktogrami XRD Sodium Alginat Komersil

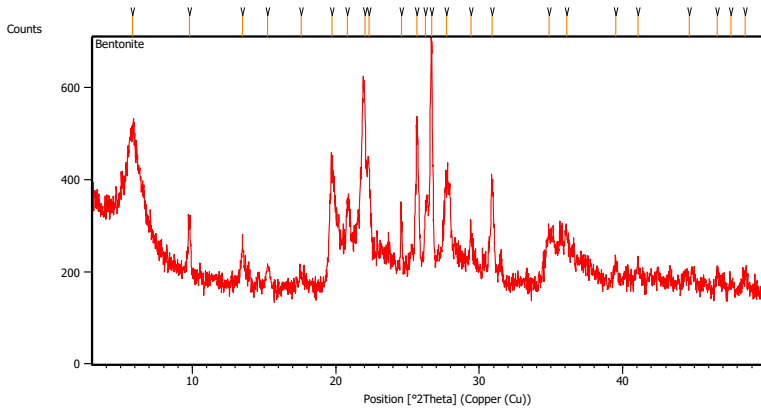
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
13.2417	69.55	0.5353	6.68643	100.00
84.8791	8.97	0.4684	1.14245	12.89



Gambar 21 Difraktogrami XRD PVA (PolyVinil Alkohol)

Tabel 3 *Peak List* Difraktogrami XRD PVA (PolyVinil Alkohol)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
15.5756	18.35	0.8029	5.68937	2.67
19.2694	638.09	0.4015	4.60630	92.73
19.6684	688.09	0.2676	4.51373	100.00
22.6012	122.41	0.4015	3.93422	17.79
40.5177	32.46	0.8029	2.22645	4.72



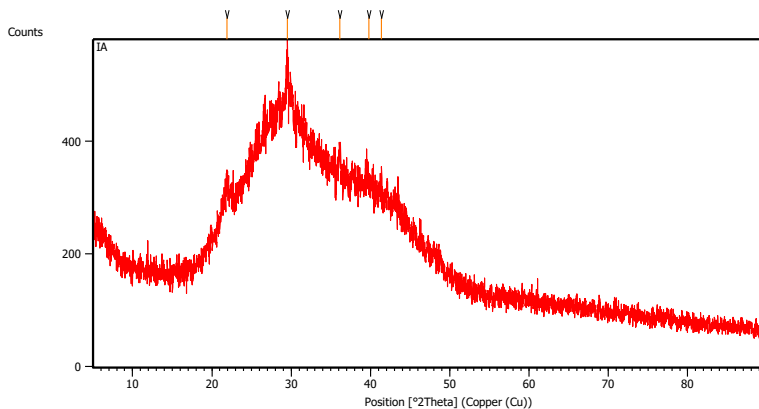
Gambar 22 Difraktogrami XRD Bentonit

Tabel 4 *Peak List* Difraktogrami XRD Bentonit

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.8447	203.99	0.4684	15.12156	39.56
9.7849	102.47	0.2007	9.03945	19.87
13.5141	89.59	0.1004	6.55225	17.38
15.2503	49.09	0.2007	5.80999	9.52
17.5938	27.21	0.5353	5.04102	5.28
19.7368	253.45	0.2342	4.49825	49.15
20.7981	182.08	0.2007	4.27105	35.31
22.0368	385.27	0.1171	4.03369	74.72
22.3012	272.63	0.1338	3.98647	52.87
24.5754	139.33	0.1004	3.62248	27.02
25.6465	310.05	0.0669	3.47357	60.13
26.2452	160.82	0.2007	3.39567	31.19
26.6771	515.64	0.1506	3.34166	100.00
27.7058	222.55	0.4015	3.21989	43.16
29.4299	125.32	0.1338	3.03506	24.30
30.9014	217.04	0.2007	2.89381	42.09
34.8881	96.78	0.5353	2.57173	18.77



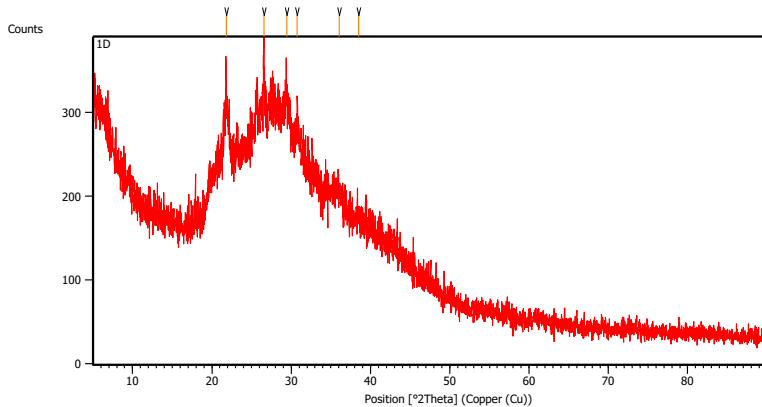
36.1042	84.70	0.2007	2.48784	16.43
39.5187	34.98	0.2007	2.28041	6.78
41.0761	37.19	0.2007	2.19747	7.21
44.6353	17.16	0.8029	2.03016	3.33
46.6106	32.92	0.2007	1.94863	6.38
47.5301	14.54	0.3346	1.91306	2.82
48.5480	39.61	0.2676	1.87530	7.68



Gambar 23 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/30B

Tabel 5 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/30B

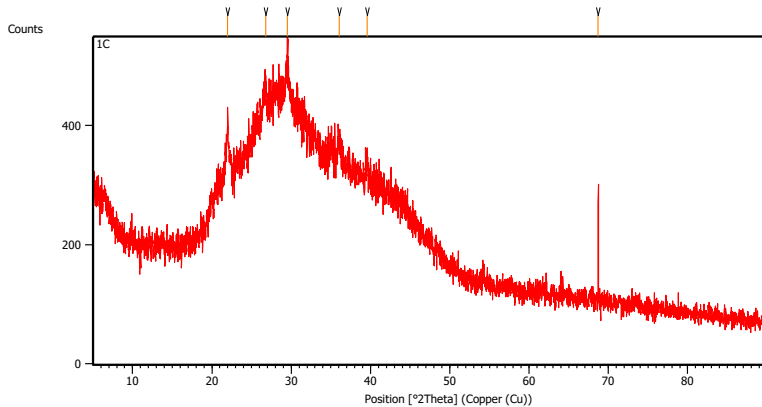
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.8664	55.27	0.4015	4.06475	60.98
29.5069	90.65	0.2007	3.02732	100.00
36.1245	34.88	0.3346	2.48649	38.48
39.7753	13.99	0.8029	2.26628	15.44
41.3445	27.51	0.3346	2.18382	30.34



Gambar 24 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/15B/15P

Tabel 6 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/15B/15P

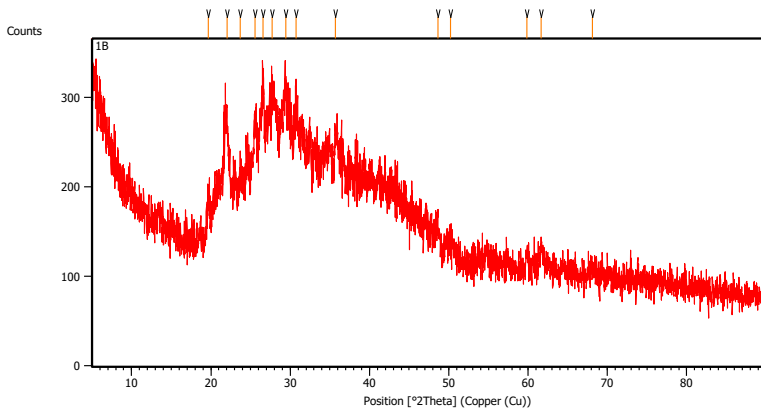
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.8468	74.87	0.2676	4.06834	64.01
26.5537	116.97	0.1004	3.35691	100.00
29.4494	71.94	0.5353	3.03310	61.51
30.7718	41.39	0.4015	2.90570	35.38
36.0259	14.57	0.8029	2.49307	12.45
38.5091	10.28	0.4015	2.33784	8.79



Gambar 25 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/10B/20P

Tabel 7 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/10B/20P

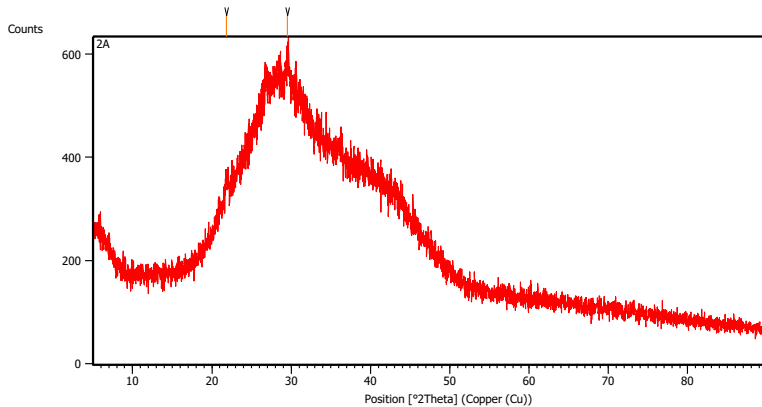
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.9771	98.42	0.2007	4.04452	49.12
26.7604	78.02	0.2676	3.33145	38.94
29.5266	112.42	0.2676	3.02534	56.11
36.0548	36.25	0.4015	2.49114	18.09
39.5878	38.63	0.2676	2.27658	19.28
68.7178	200.37	0.0612	1.36487	100.00



Gambar 26 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/5B/25P

Tabel 8 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/5B/25P

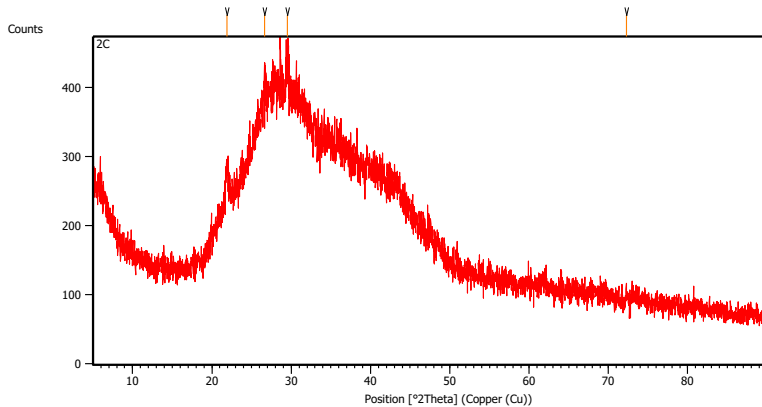
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
19.7002	36.45	0.3346	4.50652	31.35
22.0436	116.29	0.4684	4.03246	100.00
23.7280	37.75	0.4015	3.74989	32.47
25.5929	76.41	0.2676	3.48072	65.71
26.5649	111.43	0.2007	3.35553	95.83
27.7434	90.48	0.8029	3.21560	77.80
29.4387	85.87	0.6691	3.03417	73.85
30.7327	52.26	0.4015	2.90931	44.94
35.6796	35.07	0.4015	2.51647	30.16
48.6204	21.79	0.4015	1.87268	18.74
50.1847	14.45	0.8029	1.81791	12.43
59.8722	18.14	0.2676	1.54486	15.60
61.6562	23.47	0.4015	1.50437	20.18
68.0839	8.95	0.5353	1.37717	7.70



Gambar 27 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/30P

Tabel 9 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/30P

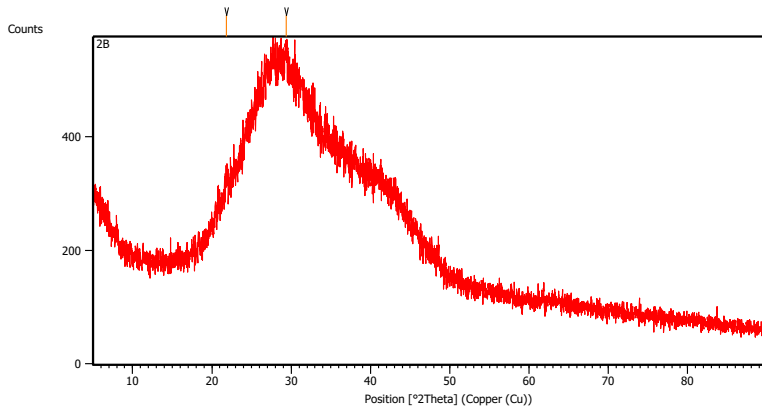
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.8226	53.26	0.2007	4.07279	100.00
29.5291	47.95	0.4015	3.02509	90.04



Gambar 28 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/20B/10P

Tabel 10 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/20B/10P

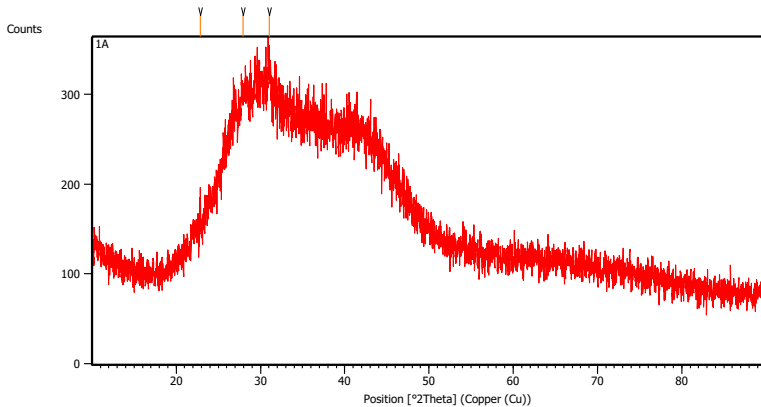
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.8922	57.50	0.2676	4.06001	73.23
26.6703	57.15	0.8029	3.34250	72.78
29.5363	78.52	0.2676	3.02437	100.00
72.3097	5.71	0.4015	1.30674	7.27



Gambar 29 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/25B/5P

Tabel 11 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/25B/5P

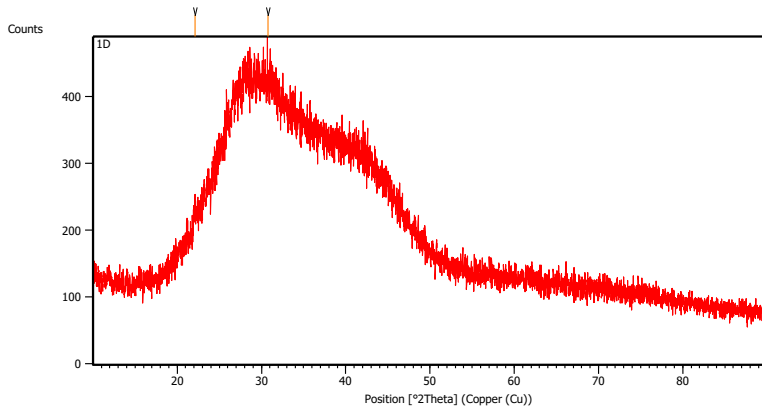
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.8442	29.24	0.4015	4.06883	58.65
29.4001	49.86	0.4015	3.03807	100.00



Gambar 30 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/30B

Tabel 12 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/30B

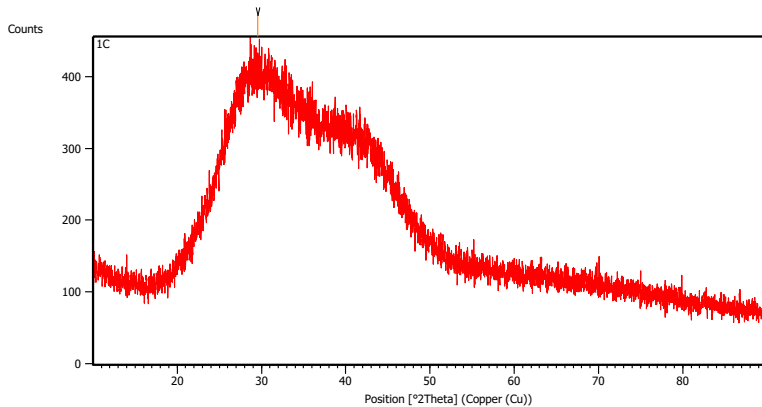
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.8599	28.02	0.1004	3.89028	76.12
27.9567	17.39	0.6691	3.19156	47.24
31.0265	36.81	0.3346	2.88242	100.00



Gambar 31 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/15B/15P

Tabel 13 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/15B/15P

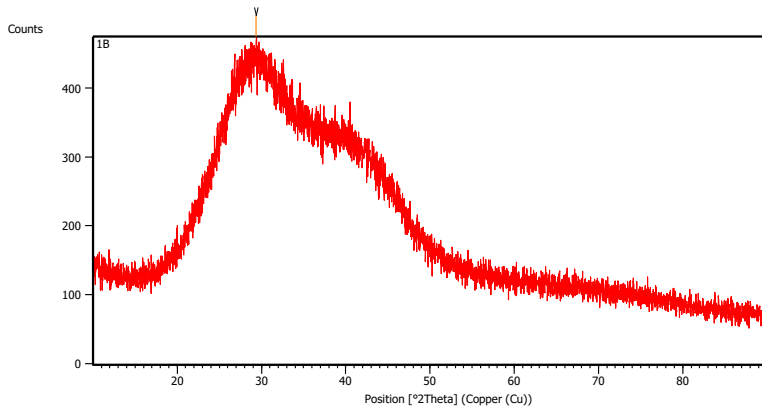
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.1171	16.32	0.4896	4.01591	36.77
30.7736	44.38	0.0900	2.90313	100.00



Gambar 32 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/10B/20P

Tabel 14 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/10B/20P

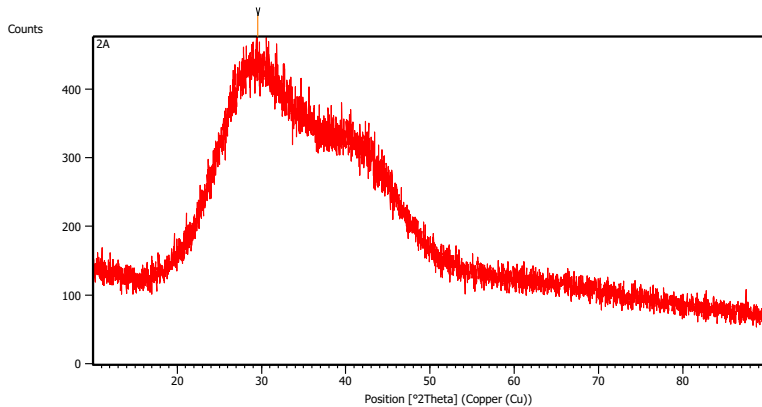
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
29.5475	33.11	0.0900	3.02075	100.00



Gambar 33 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/5B/25P

Tabel 15 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/5B/25P

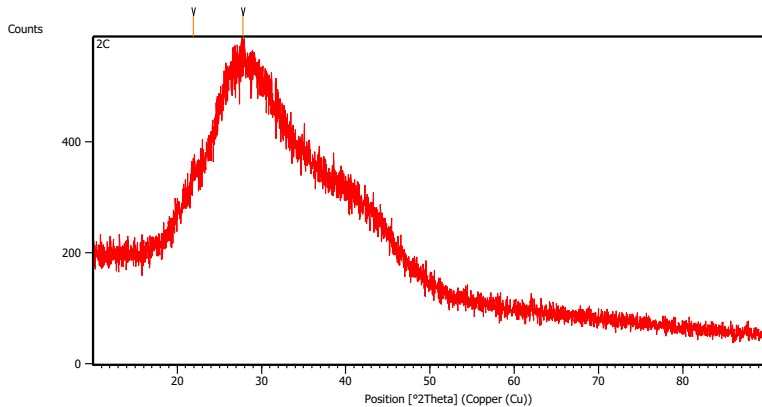
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
29.3723	49.18	0.0900	3.03837	100.00



Gambar 34 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/30P

Tabel 16 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/30P

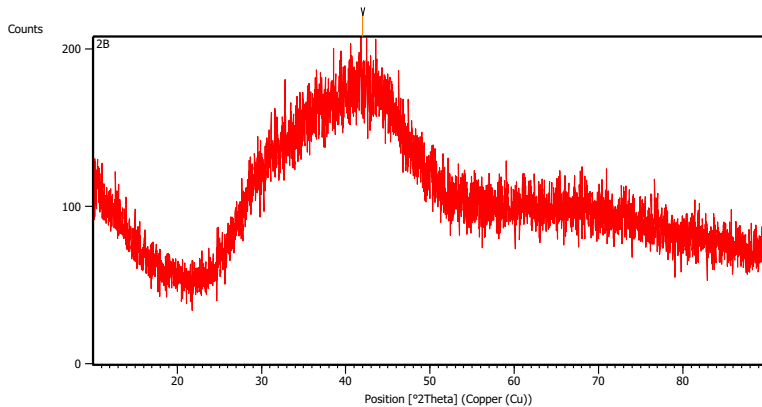
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
29.5475	34.89	0.0900	3.02075	100.00



Gambar 35 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/20B/10P

Tabel 17 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/20B/10P

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.8971	24.93	0.6528	4.05575	58.03
27.7959	42.96	0.0900	3.20700	100.00



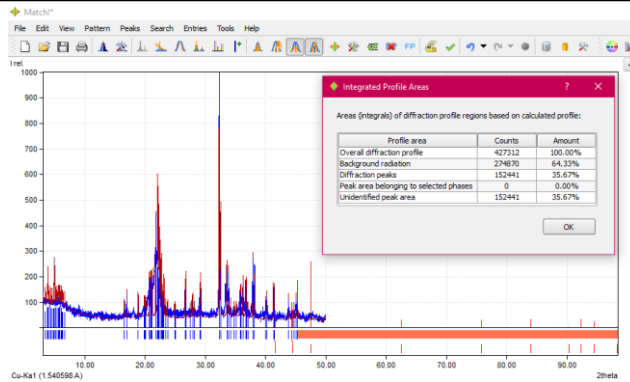
Gambar 36 Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/25B/5P

Tabel 18 *Peak List* Difraktogrami XRD Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/25B/5P

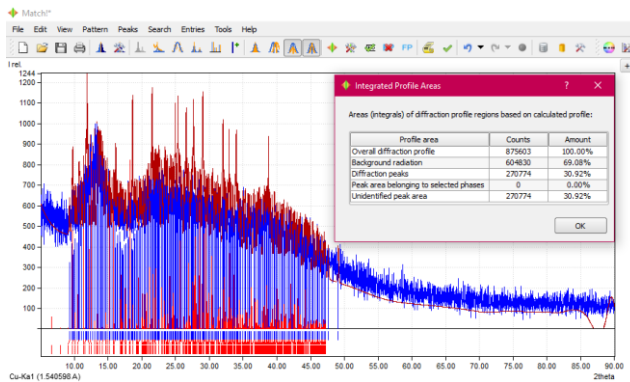
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
41.9839	26.29	0.0900	2.15025	100.00

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material FTI-ITS



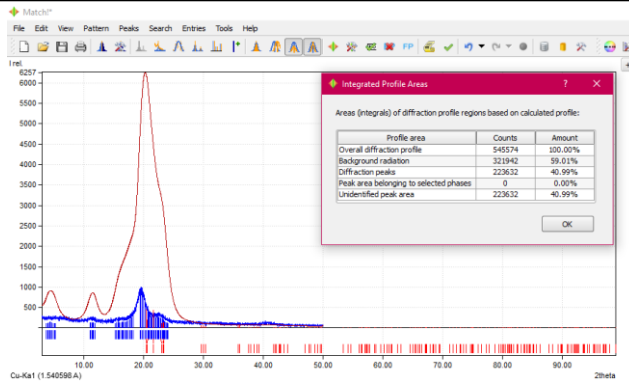
Gambar 37 Indeks Kristalinitas dari Sodium Alginate Ekstraksi Jalur CaCl_2



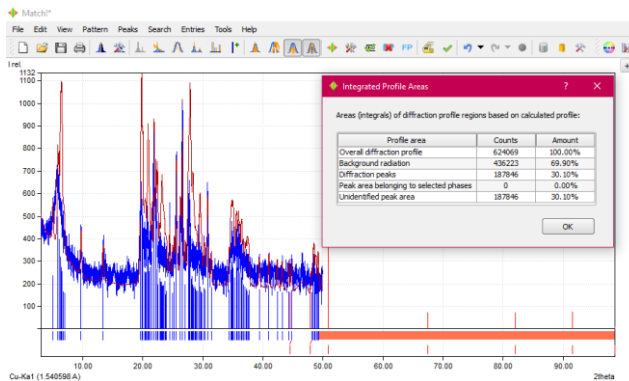
Gambar 38 Indeks Kristalinitas dari Sodium Alginate Komersil

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material FTI-ITS



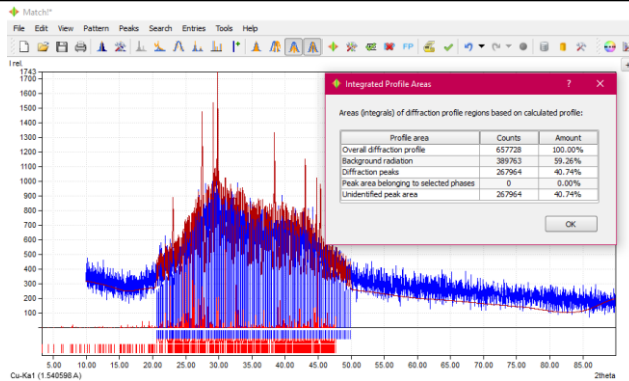
Gambar 39 Indeks Kristalinitas dari PVA (PolyVinyl Alkohol)



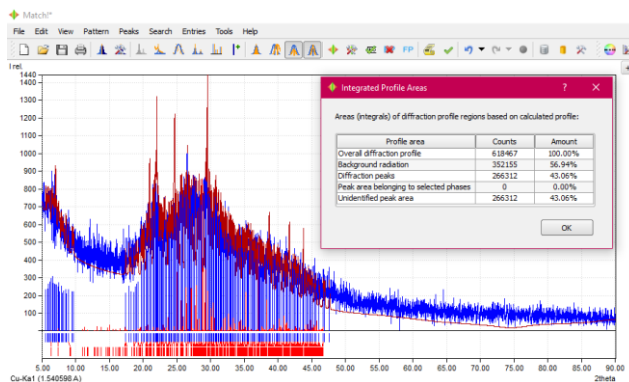
Gambar 40 Indeks Kristalinitas dari Bentonit

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material FTI-ITS



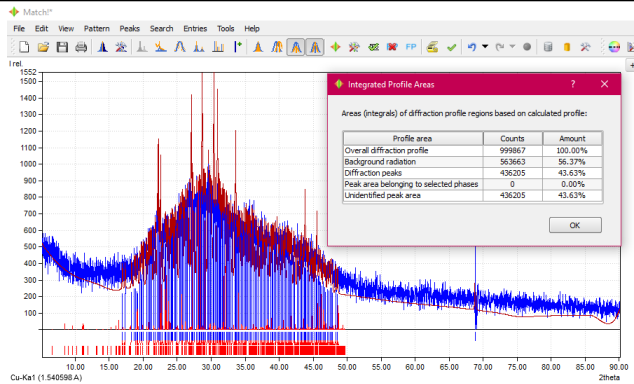
Gambar 41 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/30B



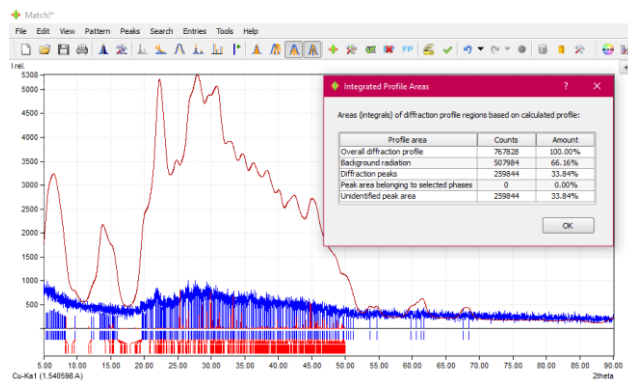
Gambar 42 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/15B/15P

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material FTI-ITS



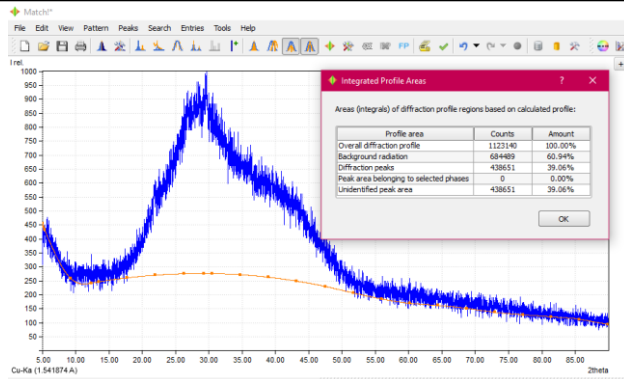
Gambar 43 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/10B/20P



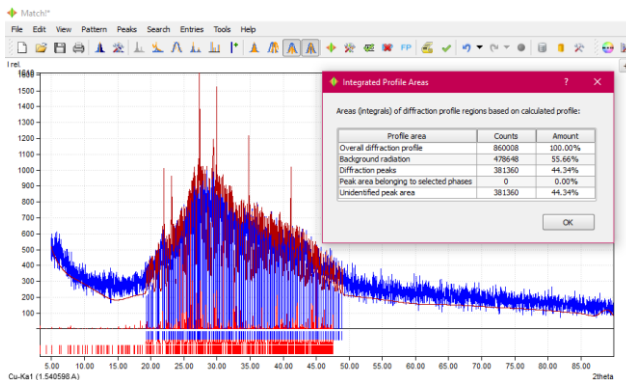
Gambar 44 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/5B/25P

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material FTI-ITS



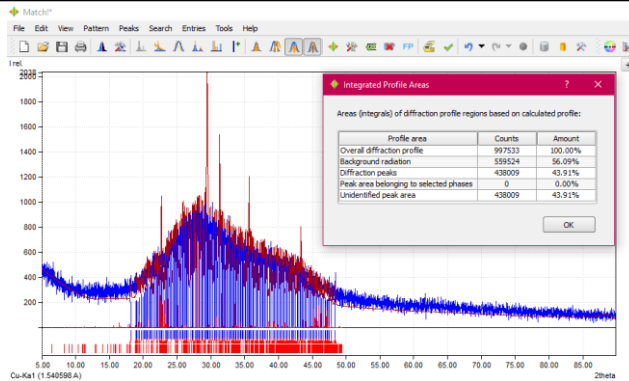
Gambar 45 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/30P



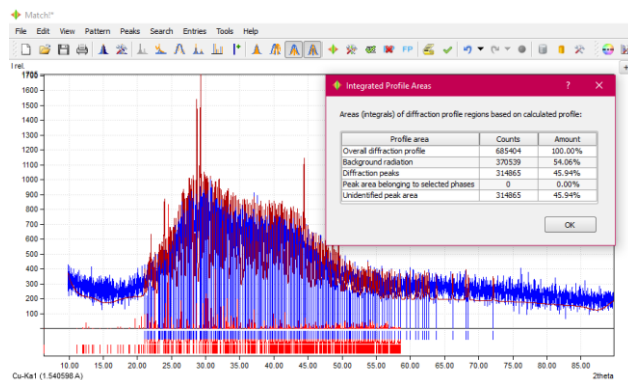
Gambar 46 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/20B/10P

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material FTI-ITS



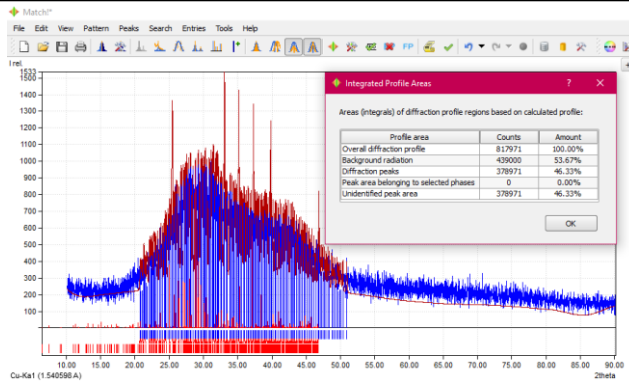
Gambar 47 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi Komposisi 70A/25B/5P



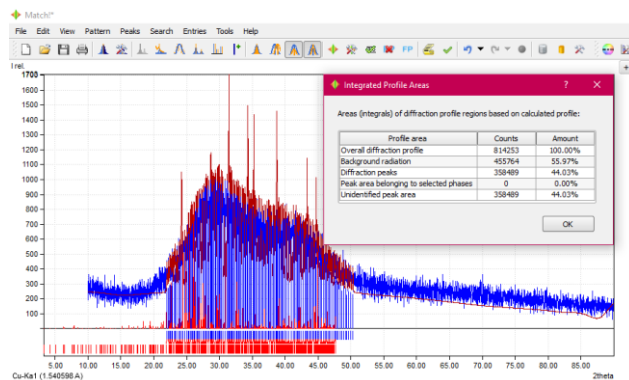
Gambar 48 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/30B

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material FTI-ITS



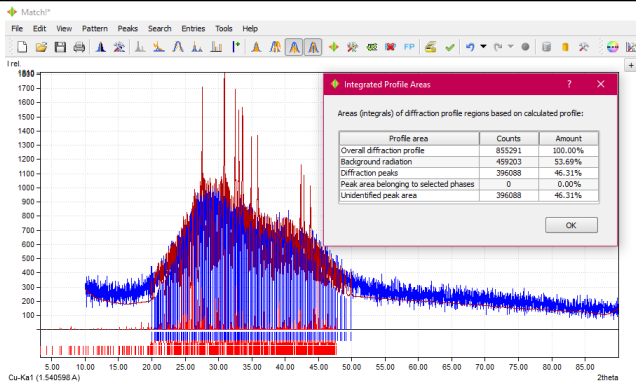
Gambar 49 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/15B/15P



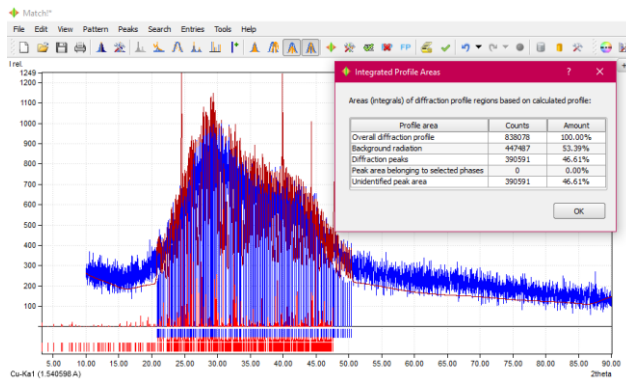
Gambar 50 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/10B/20P

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material FTI-ITS



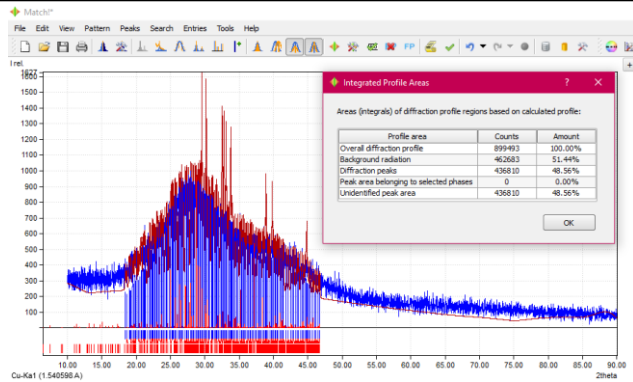
Gambar 51 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/5B/25P



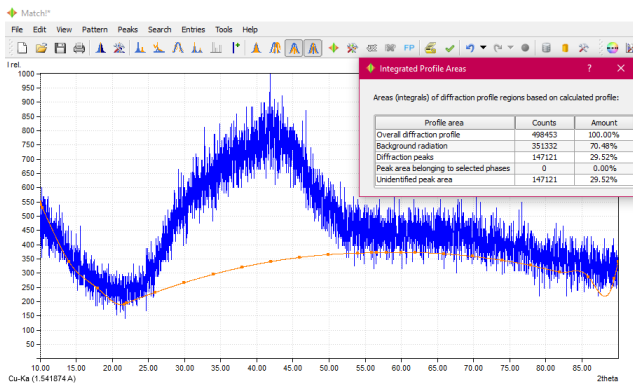
Gambar 52 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/30P

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 53 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/20B/10P



Gambar 54 Indeks Kristalinitas dari Hidrogel Komposit Alginat Komersil Komposisi 70A/25B/5P



Tabel 19 Berat Akhir Minggu ke- 1,2,3,4, dan 5 Hidrogel Komposit (Alginat Komersil /PVA/Bentonit) setelah perendaman dalam larutan PBS

Hidrogel Komposit (Alginat Komersil /PVA/Bentonit)	Minggu ke-				
	1	2	3	4	5
1A	4,782	4,347	3,971	3,492	2,549
1B	4,422	3,519	2,217	1,490	1,001
1C	4,735	4,388	3,997	3,511	2,728
1D	4,692	4,203	3,838	3,263	2,450
2A	4,096	2,011	1,212	0,667	0,101
2B	4,923	4,845	4,739	4,301	3,514
2C	4,880	4,608	4,450	4,419	3,683

Tabel 20 Berat Akhir Minggu ke- 1,2,3,4, dan 5 Hidrogel Komposit (Alginat Ekstraksi /PVA/Bentonit) setelah perendaman dalam larutan PBS

Hidrogel Komposit (Alginat Ekstraksi /PVA/Bentonit)	Minggu ke-				
	1	2	3	4	5
3A	4,719	4,417	4,108	3,698	2,873
3B	4,552	4,031	3,723	3,356	2,100
3C	4,704	4,400	4,074	3,565	2,700
3D	4,700	4,382	4,056	3,429	2,471
4A	4,391	3,724	3,092	2,180	1,001
4B	4,886	4,702	4,590	4,401	4,022
4C	4,813	4,640	4,493	4,164	3,685

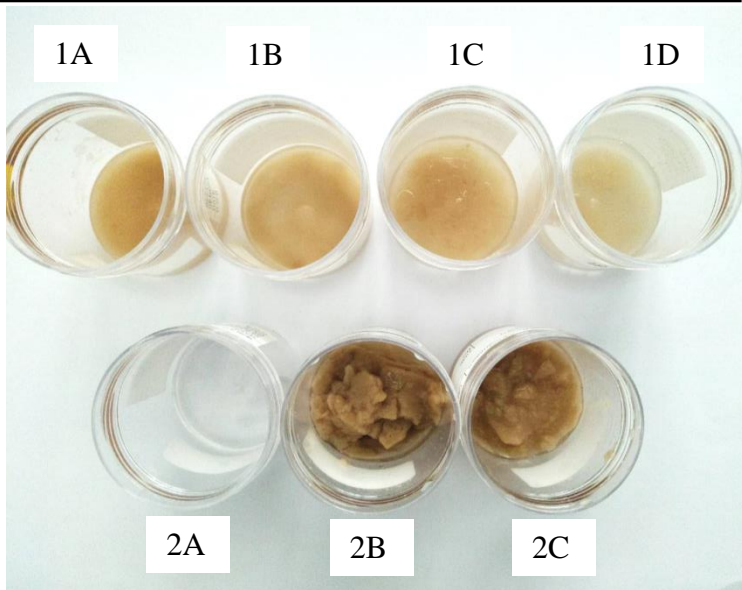


Tabel 21 *Weight Loss* Minggu ke- 1,2,3,4, dan 5 Hidrogel Komposit (Alginat Komersil /PVA/Bentonit) setelah perendaman dalam larutan PBS

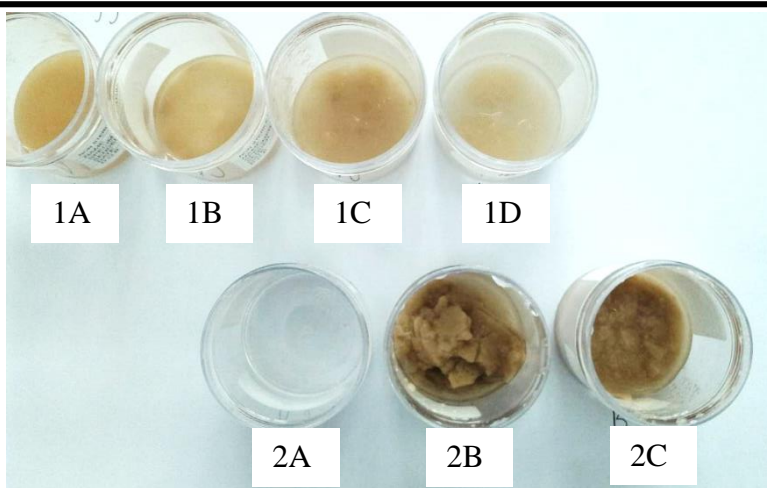
Hidrogel Komposit (Alginat Komersil /PVA/Bentonit)	Minggu ke-				
	1	2	3	4	5
1A	0,218	0,653	1,029	1,508	2,451
1B	0,578	1,481	2,873	3,510	3,999
1C	0,265	0,612	1,003	1,489	2,272
1D	0,371	0,797	1,162	1,737	2,550
2A	0,904	2,989	3,788	4,333	4,899
2B	0,077	0,155	0,261	0,699	1,486
2C	0,120	0,392	0,550	0,851	1,317

Tabel 22 *Weight Loss* Minggu ke- 1,2,3,4, dan 5 Hidrogel Komposit (Alginat Komersil /PVA/Bentonit) setelah perendaman dalam larutan PBS

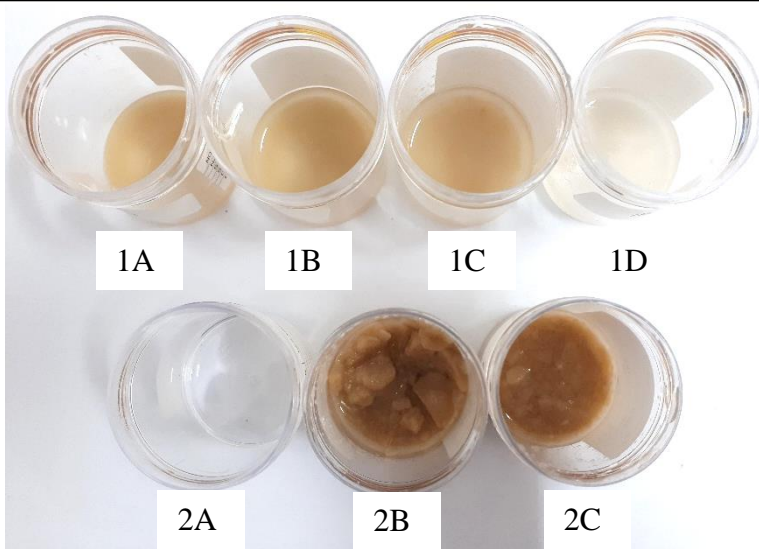
Hidrogel Komposit (Alginat Ekstraksi /PVA/Bentonit)	Minggu ke-				
	1	2	3	4	5
3A	0,281	0,583	0,892	1,302	2,127
3B	0,448	0,969	1,277	1,644	2,900
3C	0,296	0,600	0,926	1,435	2,300
3D	0,300	0,618	0,944	1,571	2,529
4A	0,609	1,276	1,908	2,820	3,999
4B	0,114	0,298	0,410	0,599	0,978
4C	0,187	0,360	0,507	0,836	1,315



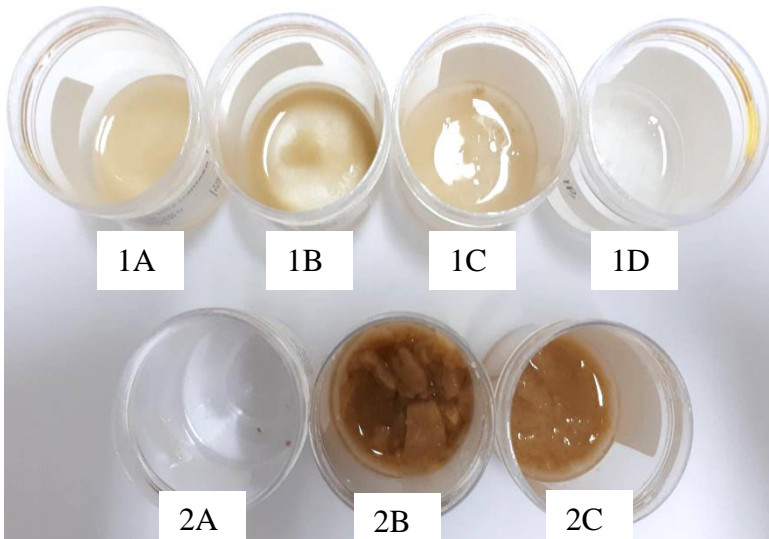
Gambar 55 Hasil Visual Uji Degradasi Hidrogel Komposit Alginat Komersil/PVA/Bentonit dengan Larutan PBS 60 ml pada Minggu -1



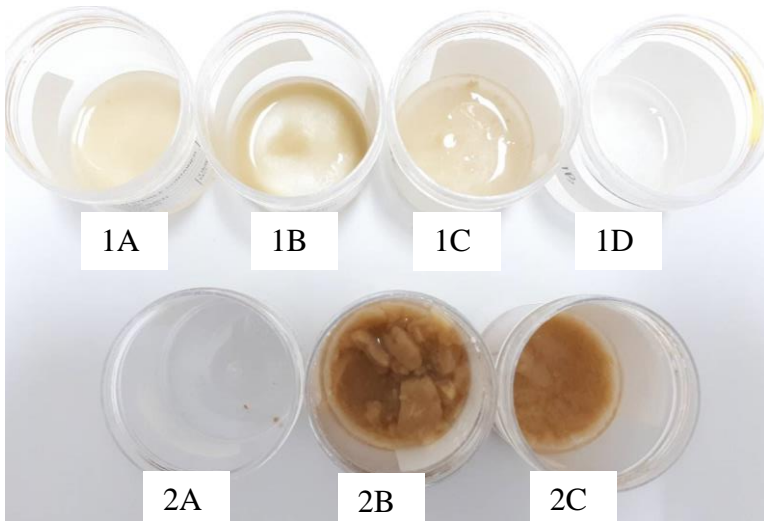
Gambar 56 Hasil Visul Uji Degradasi Hidrogel Komposit Alginat Komersil/PVA/Bentonit dengan Larutan PBS 60 ml pada Minggu



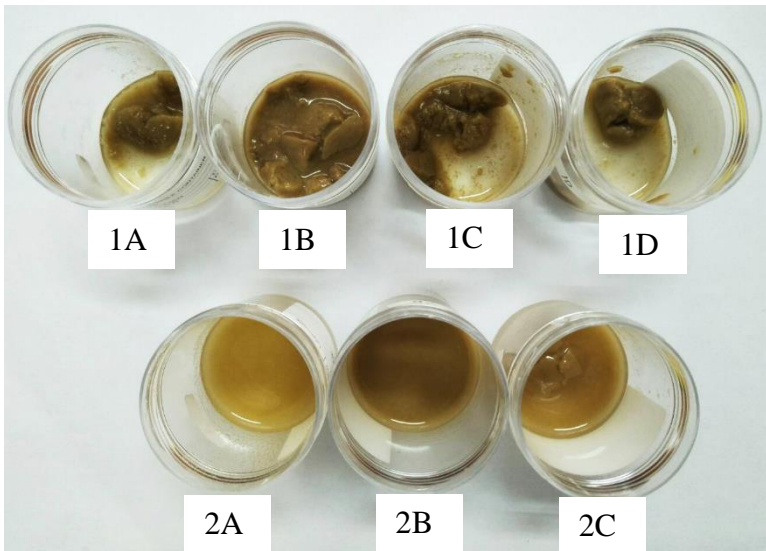
Gambar 57 Hasil Visul Uji Degradasi Hidrogel Komposit Alginat
Komersil/PVA/Bentonit dengan Larutan PBS 60 ml pada Minggu



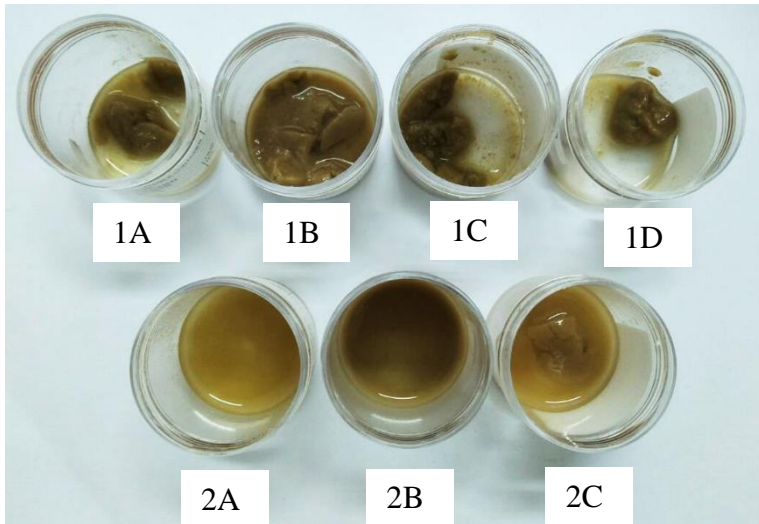
Gambar 58 Hasil Visul Uji Degradasi Hidrogel Komposit Alginat Komersil/PVA/Bentonit dengan Larutan PBS 60 ml pada Minggu



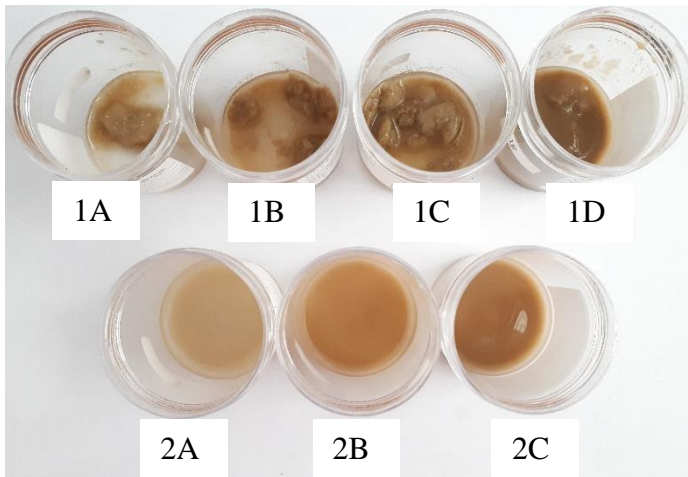
Gambar 59 Hasil Visul Uji Degradasi Hidrogel Komposit Alginat
Komersil/PVA/Bentonit dengan Larutan PBS 60 ml pada Minggu



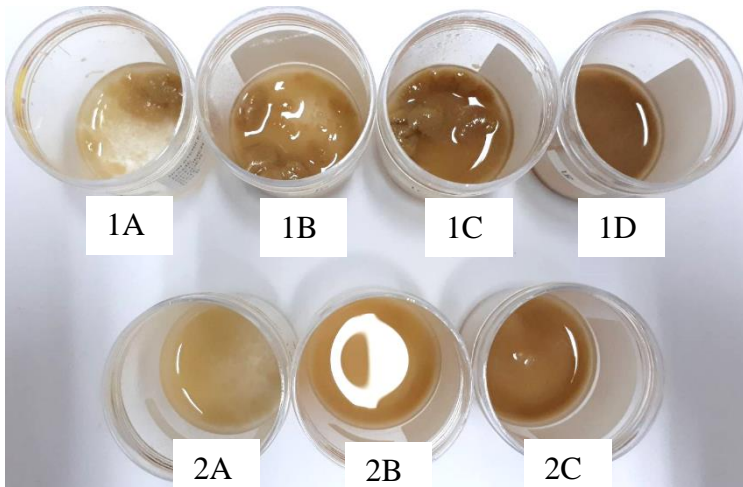
Gambar 60 Hasil Visul Uji Degradasi Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi/PVA/Bentonit dengan Larutan PBS 60 ml pada Minggu



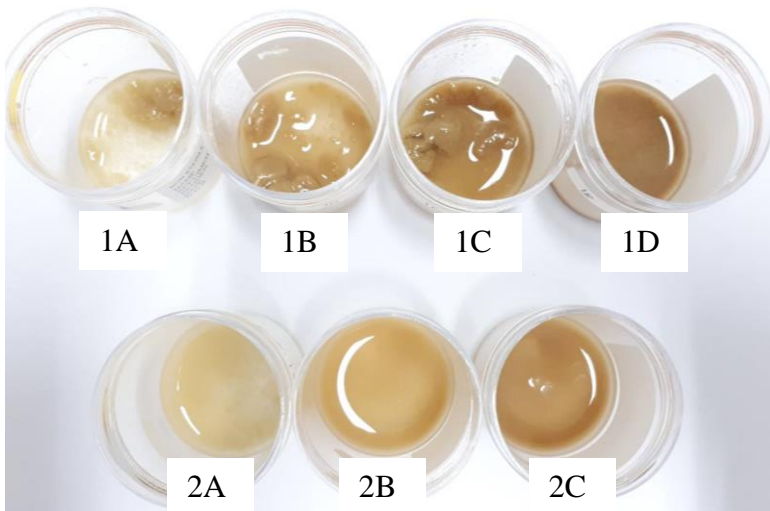
Gambar 61 Hasil Visul Uji Degradasi Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi/PVA/Bentonit dengan Larutan PBS 60 ml pada Minggu
-2



Gambar 62 Hasil Visual Uji Degradasi Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi/PVA/Bentonit dengan Larutan PBS 60 ml pada Minggu



Gambar 63 Hasil Visual Uji Degradasi Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi/PVA/Bentonit dengan Larutan PBS 60 ml pada Minggu



Gambar 64 Hasil Visul Uji Degradasi Hidrogel Komposit Alginat Ekstraksi/PVA/Bentonit dengan Larutan PBS 60 ml pada Minggu

Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Thiya Rizkia P

Akademik Pemilik : Teknik Material & Metalurgi ITS

Nama Contoh : Komposit Alginat

Tanggal Terima : 24 Okt 2017

Deskripsi : Berman : Pefes Can Gas

Tanggal Pengujian : 25 Okt 2017

Contoh : Volume : -

Tanggal Selesai : 26 Okt 2017

Kemasan : Botol

Pengujian : 7

Kode Contoh : EI-624

Jumlah Contoh : 7

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan - LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	1 A	Kinematik Viscosity at 40°C	85,97	cSt	ASTM D 445-97
2	1 D		155,22		
3	1 C		78,80		
4	1 B		286,56		
5	2A		93,33		
6	2 C		57,31		
7	2 B		71,64		

Suhu : 23,1 °C

Humidity : 43 %

Analisis : NBS

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ketiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara resmi.

Manajer Pemilik

Laboratorium Energi dan Lingkungan

Manajer Teknis

Dr. Ir. Sutanto, DEA
NIP. 19620820 198603 1 004

Vita Yuliana S.Sj
NIP. 914014001

Gambar 65 Hasil Uji Viskositas untuk Komposit Hidrogel
Alginat Komersil di LPPM Lab Energi ITS

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Jember, 29 Desember 1995, dan merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Furqon, SD Jember Lor III, SMP Negeri 2 Jember, dan SMA Negeri 1 Jember. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya melalui jalur SNMPTN di Jurusan Teknik Material Institut

Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014 terdaftar dengan NRP 02511440000023. Pada Teknik Material penulis memilih bidang Material Inovatif.

Sejak kuliah penulis aktif mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) dan pernah menjabat sebagai Sekretaris Umum Badan Semi Otonom *Material Techno Club*, *Steering Committee* Kaderisasi periode 15/16 HMMT FTI ITS dan Kepala Departemen Humas LDJ AshHabul Kahfi JTMM ITS. Penulis juga aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan pelatihan seperti LKMM Pra TD, LKMM TD, *Workshop Technology of Materials*. Di masa perkuliahan penulis berkesempatan mengikuti kegiatan *workshop Non Destructive Testing* tahun 2016, dan pelatihan Teknologi Komputasi (Inventor, Ansys, dan Solid Work tahun 2017).

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. PJB UP Gresik, Jawa Timur pada bulan Juni 2017. Selama kerja praktek, penulis mendalami topik terkait “Analisis Kegagalan pada *Tube Superheater* pada HRSG 1.2 PT. PJB UP Gresik”.

Tugas akhir yang diambil penulis adalah dalam bidang Material Inovatif dengan judul “Studi Pengaruh Penambahan PVA dan Bentonit Terhadap Morfologi dan Sifat Fisik Komposit Berbasis Hidrogel Alginat Sebagai Kandidat Material Perancah untuk Regenerasi Tulang Rawan”.

Email: thalytapradipta@gmail.com